

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ehsan CHAVOSH HAKKAK

**AYAKLI ÇELİK SU DEPOSUNUN DİNAMİK DAVRANIŞININ TEORİK VE
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2012

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AYAKLI ÇELİK SU DEPOSUNUN DİNAMİK DAVRANIŞININ TEORİK VE
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Ehsan CHAVOSH HAKKAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez / /2012 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. A. Kamil TANRIKULU
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR
ÜYE

.....
Doç. Dr. Galip SEÇKİN
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz inşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. M. Rifat ULUSOY
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AYAKLI ÇELİK SU DEPOSUNUN DİNAMİK DAVRANIŞININ TEORİK
VE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

EHSAN CHAVOSH HAKKAK

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman: Prof. Dr. A. Kamil TANRIKULU

Yıl: 2012, Sayfa: 82

Jüri : Prof. Dr. A. Kamil TANRIKULU

Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR

Doç. Dr. Galip SEÇKİN

Bu çalışmada, bir ayaklı su deposu modelinin dinamik deprem davranışı deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Çalışmanın deneysel kısmı Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında yapılmıştır. Teorik incelemeler ise SAP2000 yazılımıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında, 2.10 metre yüksekliğinde, paslanmaz çelikten bir ayaklı su deposu kullanılmıştır. Su deposu Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarındaki sarsma tablası üzerine kurulup geçmiş deprem kayıtları altında deprem davranışı deneysel olarak araştırılmıştır. Sayısal bina analizi yazılımlarının sonuçlarıyla, deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçların uyumlu olduğu belirlenmiştir. Aynı deneyler su deposunun içine farklı seviyelerde su doldurularak tekrar edilmiş ve deney sonuçları sayısal bina analizi yazılımlarının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Su deposunun depreme göre yapısal çözümlemesinde depodaki sıvının salınım etkilerinin dikkate alınmasının su deposunun dinamik davranışını önemli ölçüde değiştirdiği belirlenmiştir. Kurulan model yapısının büyük ölçüde benzerlik yasalarına uygun olarak tasarlanması sonucu deney hataları en aza indirgenmiştir. Teorik Yöntemler ile elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla uyumu sıvı-yapı etkileşimi için kullanılan modellerin başarısını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Su deposu, Yapı dinamiği, Deprem mühendisliği, Sinyal/Veri işleme, Sıvı-yapı etkileşimi.

ABSTRACT

MASTER THESIS

DYNAMIC BEHAVIOR OF THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF STEEL WATER TANK

Ehsan CHAVOSH HAKKAK

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BASIC AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF CUKUROVA**

Supervisor : Prof. Dr. A. Kamil TANRIKULU

Yıl: 2012, Sayfa: 82

Jury : Prof. Dr. A. Kamil TANRIKULU

Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR

Assoc. Prof. Dr. Galip SEÇKİN

In this study, the dynamic earthquake behaviour of a standing water tank model has been investigated experimentally and theoretically. The experimental study has been realized in the civil engineering laboratory of Cukurova University (CU). Theoretical investigations have been carried out by means of the SAP2000 software. In the study, a stainless steel tank of 2.10 m height was used in the construction laboratory of CU Civil Engineering Department. The tank was fixed on the shaking table in the construction laboratory, and earthquake behaviour was investigated experimentally according to previous earthquake records. The experimental results were compared with the numerical results of the building analysis software, and they were found to be compatible. The same experiment was repeated in the same tank which was filled with various levels of water, and the results were compared with the numerical results of building analysis software. Taking the seismic structural analysis of water tank into account, the effects of liquid sloshing seemed to have significantly affected the dynamic behaviour of the water tank. The experimental mistakes were minimised since the model structure was largely designed in accordance with the laws of similarity. The compatibility between the results of theoretical methods and the current experiment shows the success of the models used for fluid-structure interaction.

Keywords: Water tank, Structural dynamics, Earthquake engineering, Signal/Data processing, Fluid-structure interaction

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışması süresince, çalışmalarına yön veren, değerli katkılarını ve zamanını benden esirgemeyen, tecrübesiyle ve bilgisiyle beni destekleyen Sayın Hocam, Prof. Dr. A. Kamil TANRIKULU' ya teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarına destekte bulunan laboratuvar teknisyeni Ömer KÜTÜK ve Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Atölyesi teknisyenlerine teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında, maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen ve beni sabırla destekleyen, her zaman yanımda olan canım anneme, babama ve kardeşlerime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVI
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Model Üretimi ve Ölçeklendirme İle İlgili Çalışmalar.....	5
2.2. Model Deneyleri İle İlgili Çalışmalar.....	7
2.3. Sıvı Yapı Etkileşimi İle İlgili Çalışmalar.....	10
3. MATERYAL ve METOD.....	11
3.1. Sarsma Tablası.....	12
3.1.1. Giriş.....	12
3.2. Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Sarsma Tablası (CUSHAKE).....	12
3.3. Veri Toplama Sistemi (VTS).....	14
3.3.1. Veri Toplama Donanımı (Data Logger).....	14
3.3.2. Doğrusal Deplasman Ölçme Cihazı (Linear Variable Differential Transformer, LVDT).....	15
3.4. Sarsma Tablası Veri Toplama Sistemi.....	16
3.5. Sinyal/Veri İşleme.....	17
3.5.1. Filtreleme.....	18
3.5.1.1. Alçak Geçiren (Low Pass) Filtre.....	20
3.5.1.2. Yüksek Geçiren (High Pass) Filtre.....	20
3.5.1.3. Band Geçiren (Band Pass) Filtre.....	21
3.5.1.4. Band Blok (Band Block) Filtre.....	22
3.6. Su Depoları İçin Sıvı-Yapı Etkileşiminin Değerlendirilmesi.....	23

3.6.1. Analitik Yaklaşım.....	24
3.6.1.1. Tek Kütleli Sistem.....	24
3.6.1.2. Çok Kütleli Sistem.....	27
3.6.2. Housner'in İki Kütleli Sistem Yaklaşımı.....	28
3.7. Deneysel Çalışmada Kullanılan LVDT'lerin Kalibrasyonu ve Su Deposunun Üretimi.....	31
3.7.1. Giriş.....	31
3.7.2. LVDT'lerin Kalibrasyonu.....	31
3.7.3. Deney Düzeneği ve Yapı Modelli.....	32
3.7.3.1. Su Deposu.....	33
3.8. Model Yapıya Ait Sönüm Oranının Belirlenmesi.....	36
4. UYGULAMALAR ve ARAŞTIRMA BULGULARI.....	39
4.1. Giriş.....	39
4.2. Model Yapıya Ait Çeşitli Parametrelerin Belirlenmesi.....	39
4.2.1. Model Yapı İçin Efektif Elastisite Modülünün Belirlenmesi.....	39
4.2.2. Model Yapının Serbest Titreşim Frekanslarının Belirlenmesi.....	43
4.2.2.1. Fourier Spektrum Yöntemi.....	43
4.2.3. Model Yapıya Ait Sönüm Oranının Belirlenmesi.....	45
4.3. Model Yapının Deprem Davranışının Belirlenmesi.....	46
4.3.1. Su Deposu Boşken Model Yapının Deprem Davranışı.....	46
4.3.1.1. El Centro Depremi Etkisinde Model Yapı Davranışı.....	46
4.3.1.2. Adana Depremi Etkisinde Model Yapı Davranışı.....	49
4.3.1.3. Düzce Depremi Etkisinde Model Yapı Davranışı.....	52
4.3.2. Su Deposu ($\frac{1}{2}$) Suyla Doluyken Model Yapının Deprem Davranışı...55	
4.3.2.1. El Centro Depremi Etkisinde Model Yapı Davranışı.....	55
4.3.2.2. Düzce Depremi Etkisinde Model Yapı Davranışı.....	59
4.3.3. Su Deposu ($\frac{1}{3}$) Suyla Doluyken Model Yapının Deprem Davranışı...62	
4.3.3.1. El Centro Depremi Etkisinde Model Yapı Davranışı.....	62
4.3.3.2. Düzce Depremi Etkisinde Model Yapı Davranışı.....	66
4.4. Suyun Modellenmesinde Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması.....	69

4.4.1. Giriş.....	69
4.4.1.1. Farklı Modeller İçin Serbest Titreşim Frekansların Karşılaştırılması.....	70
4.4.1.2. Farklı Modeller İçin Maksimum Deplasmanların Karşılaştırılması.....	70
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	82

ÇİZELGELER DİZİNİ	SAYFA
Çizelge 3.1. CUSHAKE Fiziksel Özellikleri (Baran, 2008).....	13
Çizelge 4.1. Çeşitli yöntemler ile elde edilen model yapı serbest titreşim frekansları.....	45
Çizelge 4.2. Farklı yöntemlerle modellenen su deposunun serbest titreşim frekanslarının kıyaslanması.....	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1. 1. Depoların sınıflandırılması (Doğangün, 1989).....	2
Şekil 3. 1. Schaevitz markalı bir LVDT'nin kesit fotoğrafı (Harris ve Sabnis, 1999).....	15
Şekil 3. 2. National Instruments veri toplama cihazı.....	16
Şekil 3. 3. Veri toplama sistemi yazılımı ekran görüntüsü.....	17
Şekil 3. 4. Modele bağlı LVDT.....	17
Şekil 3. 5. Periyodik bir fonksiyonun sinüs formlu fonksiyonlarla ifadesi (www.originlab.de).....	18
Şekil 3. 6. Periyodik bir fonksiyonun spektrum grafiği (www.originlab.de).....	19
Şekil 3. 7. Alçak Geçiren Filtre (www.originlab.com).....	20
Şekil 3. 8. Yüksek Geçiren Filtre (www.originlab.com).....	21
Şekil 3. 9. Band Geçiren Filtre (www.originlab.com).....	22
Şekil 3.10. Band Blok Filtre (www.originlab.com).....	23
Şekil 3.11. Ayaklı depolara ait tek kütleli mekanik model.....	25
Şekil 3.12. Kütle-yay modeli ile sıvı davranışının mekanik olarak tanımlanması....	27
Şekil 3.13. Ayaklı depo-sıvı sistemine ait eşdeğer mekanik modelle, iki kütleli model yaklaşımı.....	30
Şekil 3.14. Suyu modellemek için kullanılan yöntem.....	30
Şekil 3.15. komparatör cihazı kullanılarak LVDT lerin kalibrasyonu.....	32
Şekil 3.16. LVDT ye 10mm lik bir deplasman verildiğinde elde edilen grafik.....	32
Şekil 3.17. Ayaklı su deposu modeli ve boyutları.....	33
Şekil 3.18. Yastıkların depoya kaynaklanmasının görünümü.....	34
Şekil 3.19. Ayak mesnet noktalarına ait detay ve model-tabla bağlantısı.....	35
Şekil 3.20. Su deposundaki ayak ve deponun deplasman ölçüm noktaları.....	35
Şekil 3.21. Su deposunun deneye hazır hali.....	36
Şekil 3.22. Yarım güç bant genişliği yöntemi.....	37
Şekil 4. 1. Statik deney yükleme düzeneği.....	40
Şekil 4. 2. Statik deneyde su deposunun ve kullanılan yüklerin görünümü.....	40

Şekil 4.3. Statik yükleme altında depo ve ayak tepe noktasında ölçülen deplasmanın grafik görünümü.....	41
Şekil 4.4. Statik yükleme altında ayağın tepe noktasındaki ölçülen ve hesaplanan yatay deplasman değerleri.....	42
Şekil 4.5. Statik yükleme altında deponun tepe noktasındaki ölçülen ve hesaplanan yatay deplasman değerleri.....	42
Şekil 4.6. 3 Hz frekanslı ivme kaydının uygulanması sonucu model yapıdan ölçülen yatay deplasmanlar ve tabla yatay deplasmanı.....	44
Şekil 4.7. 3 Hz frekanslı ivme kaydının uygulanması sonrası model yapıda oluşan serbest titreşim hareketi.....	44
Şekil 4.8. Depo tepe nokta deplasmanının serbest titreşim kısmının Fourier spektrum grafiği.....	45
Şekil 4.9. Yarım güç bant genişliği yöntemi.....	46
Şekil 4.10. $\lambda = \frac{1}{4}$ oranıyla ölçeklenmiş El Centro depremi ivme kaydı.....	47
Şekil 4.11. Ölçeklenmiş El Centro (1940) Depremi kayıtlarının uygulanması sonucu elde edilen depo ve ayağın tepe noktaları ile tabla yatay deplasmanları(su deposu boşken).....	48
Şekil 4.12. Ölçeklenmiş El Centro Depremi (1940) ivme kaydı için deneysel olarak belirlenen depo ve ayağın tepe noktası rölatif yatay deplasmanları(su deposu boşken).....	48
Şekil 4.13. Ölçeklenmiş El Centro Depremi (1940) kaydı için deneysel ve teorik olarak elde edilen depo tepe noktası rölatif yatay deplasmanının zamanla değişiminin kıyaslanması (su deposu boşken).....	49
Şekil 4.14. ivme kaydı $\frac{1}{3}$ oranında küçültülmüş Adana depremi.....	50
Şekil 4.15. Adana Depremi (1998) kayıtlarının su deposu boşken uygulanması sonucu elde edilen yatay depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları ve tabla deplasmanları.....	51
Şekil 4.16. Adana Depremi (1998) ivme kaydı için deneysel olarak belirlenen rölatif depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları (su deposu boşken).....	51

Şekil 4.17. Adana Depremi (1998) kaydı için depodaki tepe nokta rölatif yatay deplasmanının zamanla değişimi ve sap 2000 den alınmış deplasmanların kıyaslaması (su deposu boşken).....	52
Şekil 4.18. İvme kaydı $\frac{1}{2}$ oranında küçültülmüş Düzce depremi.....	53
Şekil 4.19. Düzce Depremi (1999) kayıtlarının su deposu boşken uygulanması sonucu elde edilen yatay depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları ve tabla deplasmanları.....	54
Şekil 4.20. Düzce Depremi (1999) ivme kaydı için deneysel olarak belirlenen rölatif depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları (su deposu boşken).....	54
Şekil 4.21. Düzce Depremi (1999) kaydı için depodaki tepe nokta rölatif yatay deplasmanının zamanla değişimi ve sap 2000 den alınmış deplasmanların kıyaslaması (su deposu boşken).....	55
Şekil 4.22. El Centro (1940) Depremi kayıtlarının su deposu ($\frac{1}{2}$) suyla doluyken uygulanması sonucu elde edilen yatay depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları ve tabla deplasmanları.....	58
Şekil 4.23. El Centro Depremi (1940) ivme kaydı için deneysel olarak belirlenen rölatif depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları (su deposu ($\frac{1}{2}$) suyla doluyken).....	58
Şekil 4.24. El Centro Depremi (1940) ivme kaydı için depodaki tepe nokta rölatif yatay deplasmanının zamanla değişimi ve sap 2000 den iki farklı yöntemle alınmış deplasmanların kıyaslaması (su deposu ($\frac{1}{2}$) suyla doluyken).....	59
Şekil 4.25. Düzce Depremi (1999) kayıtlarının su deposu ($\frac{1}{2}$) suyla doluyken uygulanması sonucu elde edilen yatay depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları ve tabla deplasmanları.....	60
Şekil 4.26. Düzce Depremi (1999) ivme kaydı için deneysel olarak belirlenen rölatif depo ve ayak tepe nokta deplasmanları (su deposu ($\frac{1}{2}$) suyla doluyken).....	61

Şekil 4.27. Düzce Depremi (1999) ivme kaydı için depodaki tepe nokta rölatif yatay deplasmanının zamanla değişimi ve sap 2000 den iki farklı yöntemle alınmış deplasmanların kıyaslaması (su deposu ($\frac{1}{2}$) suyla doluyken).....	62
Şekil 4.28. El Centro (1940) Depremi kayıtlarının su deposu ($\frac{1}{3}$) suyla doluyken uygulanması sonucu elde edilen yatay depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları ve tabla deplasmanları.....	65
Şekil 4.29. El Centro Depremi (1940) ivme kaydı için deneysel olarak belirlenen rölatif depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları (su deposu ($\frac{1}{3}$) suyla doluyken).....	65
Şekil 4.30. Elcentro Depremi (1940) ivme kaydı için depodaki tepe nokta rölatif yatay deplasmanının zamanla değişimi ve sap 2000 den iki farklı yöntemle alınmış deplasmanların kıyaslaması (su deposu ($\frac{1}{3}$) suyla doluyken).....	66
Şekil 4.31. Düzce Depremi (1999) kayıtlarının su deposu ($\frac{1}{3}$) suyla doluyken uygulanması sonucu elde edilen yatay depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları ve tabla deplasmanları.....	67
Şekil 4.32. Düzce Depremi (1999) ivme kaydı için deneysel olarak belirlenen rölatif depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları (su deposu ($\frac{1}{3}$) suyla doluyken).....	68
Şekil 4.33. Düzce Depremi (1999) ivme kaydı için depodaki tepe nokta rölatif yatay deplasmanının zamanla değişimi ve sap 2000 den iki farklı yöntemle alınmış deplasmanların kıyaslaması (su deposu ($\frac{1}{3}$) suyla doluyken).....	69
Şekil 4.34. Su deposu ($\frac{1}{2}$) oranında suyla doluyken ayak tepe noktası rölatif maksimum yatay deplasmanının frekansa göre değişimi.....	71

Şekil 4.35. Su deposu ($\frac{1}{2}$) oranında suyla doluyken depo tepe noktası rölatif maksimum yatay deplasmanının frekansa göre değişimi.....	71
Şekil 4.36. Su deposu ($\frac{1}{3}$) oranında suyla doluyken ayak tepe noktası rölatif maksimum yatay deplasmanının frekansa göre değişimi.....	72
Şekil 4.37. Su deposu ($\frac{1}{3}$) oranında suyla doluyken depo tepe noktası rölatif maksimum yatay deplasmanının frekansa göre değişimi.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

L	: Uzunluk
g	: Yer çekimi ivmesi
v	: Hız
a	: İvme
t	: Zaman
LVDT	: Linear variable differential transformer (deplasman ölçme cihazı)
VTS	: Veri toplama sistemi (data acquisition system)
DFT	: Ayırık Fourier Dönüşüm (Discrete Fourier Transform)
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşüm (Fast Fourier Transform)
F_c	: Cut-off frequency
E_{cl}	: Kirişe ait Elastisite modülünü
L	: Kiriş açıklığı
I_b	: Kirişe ait eylemsizliği
N_p	: Ayakta kullanılan panel sayısını
R_s	: Ortalama ayak yarıçapı
l_{cg}	: Depoda bulunan sıvının ağırlık merkezinden taşıyıcı sistemin mesnetlendiği temel sistemine olan mesafe
E	: Elastisite modülünü
I_c	: Betonarme taşıyıcı sisteminin eylemsizliği
T	: Periyod
W_L	: Tek kütleli sistemin ağırlık değerleri
m_i	: İmpuls kütlesi
m_c	: Salınım kütlesi
ω_{ci}	: Açısal frekansı
k_c	: Salınım kütlesi rijitliği
h_c	: Salınım kütlesi yüksekliği
h_i	: İmpuls kütlesi yüksekliği
ξ	: Sönüm oranı

1. GİRİŞ

Büyük bir bölümü deprem kuşağı üzerinde yer alan Türkiye ve İran gibi ülkelerde, binaların depreme karşı dayanıklı olarak analiz ve tasarımı inşaat mühendisliğinin çok önemli konularından biridir. Geçmiş yıllarda meydana gelen depremler, dünyanın birçok yerinde binaların ve inşaat mühendisliği yapılarının göçmesi sonucu birçok zarara sebep olmuştur. Yapı dinamiği çalışmalarının en önemli amaçlarından biri yapıların dinamik davranışını araştırarak her an yaşanabilecek depreme dayanıklı yapı tasarlamaktır.

Yapıların depreme karşı analiz ve tasarımında öncelikle yapının sağlaması gereken performans düzeyi belirlenmekte, depremden hemen sonra kullanılması zorunlu olan yapılar, daha kesin ve detaylı bir biçimde ele alınmaktadır.

Yerleşim birimlerinin su ihtiyacını karşılamak amacıyla inşa edilen su depoları, depremden hemen sonra kullanılması gereken yapılardandır. Depremlerde su depolarının hasar görmesi ya da yıkılması; içme ve kullanım sularının temin edilememesi, çıkan yangınların kontrol edilememesi gibi istenmeyen olaylara sebep olabilmektedir.

Su depoları 100-50000 metre küp hacimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu depolar zemine göre konumlarına bağlı olarak; gömme, yerüstü ve ayaklı depolar olarak, geometrisine göre ise; dairesel (silindirik), dikdörtgen vb. depolar olarak sınıflandırılmaktadır. Su depolarının deprem davranışları da zemine göre konumlarına ve plandaki şekillerine göre değişmektedir. Depoların genel olarak sınıflandırılması Şekil 1.1'de verilmiştir.

Genellikle engebesiz arazilerde bulunan yerleşim birimlerinin su ihtiyacını karşılamak amacıyla inşa edilen ayaklı su depolarının bir kısmı dünyanın değişik bölgelerinde meydana gelen depremlerde hasar görmüş ya da yıkılmıştır. Bu depremlere 1906 San Francisco, 1995 Kobe ve 1999 Düzce Depremleri örnek olarak verilebilir. Su depolarının deprem davranışlarını incelemeye yardımcı olabilecek dinamik karakteristiklerini belirlemeye yönelik çalışmaların başlangıcı 1880 lere kadar uzanmaktadır. Doğrudan deprem davranışlarını belirlemeye yönelik çalışmalar ise Hindistan'daki KOYNA barajının yıkılmasından sonra Westergaard tarafından

başlatılmış ve ilk makale 1931 de yayınlanmıştır. Bu çalışmadan sonra su depolarının deprem davranışlarını belirlemeye yönelik çok sayıda araştırma yapılmış olup halen de devam etmektedir.



Şekil 1.1. Depoların sınıflandırılması (Doğangün, 1989)

Su depolarının depremlerde hasar görmelerinin başlıca nedenlerinden biri rezonans olgusudur. Büyük kapasiteli silindirik çelik su depoları titreşim periyotları genellikle 0,10s ile 0,50s arasında değişmektedir (MALHOTRA, 1997). Bu periyot aralığı aynı zamanda kuvvetli yer hareketlerinin maksimum enerjiyi içerdiği periyot aralığına denk gelmektedir. Çelik su depolarının depremde hasar görmelerinin bir başka nedeni de, büyük miktarlardaki sismik enerjiyi sönmeyecek bir süneklik mekanizmasına sahip olmamalarıdır.

Ayaklı su depolarını klasik yapılardan ayıran önemli husus, yapının taşınması gereken maddenin sıvı olmasıdır. Dinamik yükler etkisindeki ayaklı depolarda, birçok yapı sisteminden farklı olarak, yapısal kısmının sıvıyla olan etkileşimleri de depo davranışını belirlemede etkili olmaktadır. Dolayısıyla deprem gibi dinamik yükler etkisindeki ayaklı depoların davranışlarının belirlenebilmesi için bu etkileşimin gerçekçi bir şekilde dikkate alınması gerekmektedir. Bu tip yapıların dinamik analizinde sıvı-yapı etkileşiminin doğru modellenmesi büyük önem arz etmektedir. Söz konusu yapıların sıvı-yapı etkileşimi dikkate alınarak teorik modellenmesi konusunda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Ancak söz konusu teorik modellerin geçerliliğini test etmeye yönelik deneysel çalışmalar çok sınırlı

düzeydedir. Ayaklı su deposunun dinamik davranışı, içerdiği sıvı miktarı ve yüksekliği ile önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle, bu tip yapıların işletilme ilkelerinin de titiz bir biçimde belirlenmesi gerekmektedir.

Yapıların dinamik davranışlarını belirlemeye yarayan birçok teorik yöntem mevcuttur. Ancak sınır şartlarının belirsizliği, malzeme davranışının tam olarak modellenememesi ve zamana bağlı hareketin karmaşıklığı gibi birçok etken yüzünden diğer birçok disiplinde olduğu gibi yapı dinamiğinde de deneysel çalışma bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Kullanılan deneysel yöntemler ve gerçek zamanlı veri alma yollarından biri ise sarsma tablası testleridir. Deprem davranışını en çok benzeştiren (örnekleyen) yaklaşımdır. Model yapı rijit bir plaka üstüne yerleştirilmekte ve plaka hidrolik veya elektrikli bir motor yardımıyla sarsılmakta ve model yapıdan ölçülmek istenen büyüklük kaydedilmektedir. Eğer sınır şartları doğru bir şekilde belirlendiyse deprem esnasındaki davranışına en yakın davranış elde edilmektedir. Önemli dezavantajı ise ölçekli modeller üzerinde çalışılması gerekliliğidir. Ancak benzerlik yasaları yardımıyla bu dezavantaj önemsiz bir hale dönüştürülebilmektedir. Sarsma tablaları, tahrik elemanına göre elektrik motorlu ve hidrolik tahrikli olmak üzere iki tipte olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, ayaklı çelik su depolarının deprem davranışlarının deneysel ve teorik olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, 16 metre yüksekliğindeki mevcut bir su deposunun yaklaşık 1/8 geometrik ölçeğinde bir su deposu modeli üretilmiştir. Depo, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarı'nda bulunan sarsma tablası üzerine yerleştirilip geçmiş deprem kayıtları altında deneyler yapılmış, sayısal yapı analizi yazılımlarının sonuçlarıyla, deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçların uyumlu olduğu ve uyumu konusunda ne gibi parametrelerin etkili olduğu, sayısal çözümlemede ne gibi iyileştirmelerin yapılabileceği belirlenmiştir. Aynı deneyler deponun içine farklı seviyelerde su doldurarak tekrar edilmiş ve aynı şekilde deney sonuçları sayısal bina analizi yazılımlarının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın sunuluş düzeni şöyledir. 2. Bölümde, konu ile ilgili önceki çalışmalar ele alınmış, bu çalışma ile irtibatı kurulmaya çalışılmıştır. 3. Bölümde önce deneylerde kullanılan ve Ç.Ü. İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında

bulunan sarsma tablası ve ölçüm sistemi tanıtılmış, daha sonra su depolarının sıvı-yapı etkileşimi dikkate alınarak teorik analiz yöntemleri ele alınmıştır. Bu bölümde ayrıca deneysel çalışmada kullanılan model su deposunun üretimi hakkında bilgi verilmiş ve ölçüm cihazlarının kalibrasyonundan söz edilmiştir. 4. Bölümde bu çalışma kapsamında yapılan uygulamalar sunulmuş ve 5. Bölümde sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Deprem mühendisliğinde deneysel ve teorik çalışmaların geçmişi uzun yıllara dayanmaktadır. Bu bölümde konu ile ilgili önceki çalışmalar, model üretimi, gerçek modeli göz önüne alarak ölçeklendirme yasalarına göre küçültme, model deneyleri ve Sıvı-yapı etkileşimi olarak üç bölümde incelenmektedir. İlk olarak model üretimi ve ölçeklendirme yasaları ile ilgili literatürde bulunan çalışmalar, daha sonra model deneyleri ve daha sonra ise sıvı-yapı etkileşimi ile ilgili çalışmalar sunulmaktadır.

2.1. Model Üretimi ve Ölçeklendirme İle İlgili Çalışmalar

Bu bölümde, çeşitli ölçekte yapılması planlanan model yapıların üretim teknikleri ve gerçekleştirilen deprem mühendisliği deneyleri ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

Deneysel modelleme teknikleriyle ilgili Moncarz (1981) oldukça detaylı bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada Deprem Mühendisliği'nde deneysel amaçlı kullanılacak model ve teknikler yanında malzeme modellemesi üzerine de yapılan araştırmalar sunulmuştur.

Timler ve arkadaşları (1998), 1:4 ölçekli bir model kullanarak yapılarda çelik perde kullanımıyla ilgili bir çalışma yapmışlardır. Deneylerden elde ettikleri sonuçları analitik sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Villaverde ve Mosqueda (1999), ölçekli bir model kullanarak sismik bir çatı izolasyon sistemi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada farklı ölçekteki yer hareketi girdileri için sarsma tablası deneyleri yapmışlar ve deney sonuçlarını analitik yöntem sonuçlarını doğrulamak amacıyla kullanmışlardır.

Adam (2001), 1:20 ölçekli kesme tipi bir yapı üzerinde, çerçevelerin elastik/plastik sınırlar içindeki dinamik davranışını incelemiştir. Yapılan çalışma, elastik/plastik sayısal modellerin, elastik sayısal modellere nazaran sarsma tablası deneyleriyle daha uyumlu olduğunu göstermiştir.

Ma ve arkadaşları (2003), yüksek frekanslı yer hareketlerinin sebep olduğu hasarların modellenmesi çalışmasında, 1:5 ölçekli betonarme bir yapı modelinin sarsma tablasında gerçekleştirilen deney sonuçlarını kullanmışlardır.

Chen ve Chen (2004), 1:4 ölçekli, üç katlı bir model yapı kullanarak sarsma tablası deneyleri yapmışlardır. Deney sonuçları, piezoelektrik sürtünmeli sönümleyicilerin ve yarı aktif yapı kontrolü çalışmasının sayısal çözüm sonuçlarını doğrulamak amacıyla kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, bu tarz sönümleyicilerin yatay yapı deplasmanını sınırlayıcı etkileri olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

El Damatty ve arkadaşları (2005a), bir kule üzerindeki su tankının küçük ölçekli modelini sarsma tablası üzerinde test etmişler, deney sonuçlarını çalışmada ulaştıkları analitik sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Aynı sonuçların kullanıldığı diğer bir çalışmada El Damatty ve arkadaşları (2005b), test ettikleri yapının deneysel mod şekillerini ve frekanslarını vermişler ve tank tasarımında kullanılacak çeşitli parametreleri elde etmişlerdir.

Lu ve arkadaşları (2006), 101 katlı Sangay Dünya Ticaret Merkezi Kulesi'nin 1:50 ölçekteki modelini sarsma tablası üzerinde test ederek Çin yönetmeliklerine göre dizayn edilen yapının dinamik karakteristiğini ve göçme mekanizmalarını belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, kulenin 7 büyüklüğünde bir depreme bile iyi bir dayanım göstereceği belirlenmiştir. Kulenin, nadir görülen 8 büyüklüğündeki bir depremde tamamen göçmese bile ne tarz hasarlar alacağını belirlemişlerdir.

Wang ve Li (2006a), 292 metre yüksekliğinde, mevcut bir betonarme kemer barajın 1:300 ölçekli bir modelinin sarsma tablası deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Üretilen modelde, malzeme de benzerlik/ölçek yasaları uyarınca benzeştirilerek üretilmiştir. Barajın, dinamik davranışı belirlenmiş, olası bir deprem durumundaki hasarlar tespit edilmiştir.

Wang ve Li (2006b), gerçekleştirdikleri diğer bir çalışmada yüksekliği 278 metre olan kemer tipi betonarme bir barajın güçlü yer hareketleri altındaki dinamik karakterini sarsma tablası deneyleri ile belirlemişlerdir. Baraj yapısının, hasar modelini incelemişler ve tasarımda dikkat edilmesi gereken unsurları ortaya koymuşlardır. Dinamik hareket sırasındaki çekme gerilmesi değerlerinin, yapı doğrusal davranıştan uzaklaştığı için büyüdüğünü deneysel olarak tespit etmişlerdir.

2.2. Model Deneyleri İle İlgili Çalışmalar

Bu bölümde, çeşitli modeller üzerinde gerçekleştirilen deprem mühendisliği deneyleri ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

Mo ve Hwang (1998), küçük ölçekli öngerilmeli çerçeveler üzerinde yaptıkları sarsma tablası deneyleri ile çerçevelerin yatay yük-deplasman ilişkilerini belirlemişlerdir. Bu tarz çerçeveler için sünekliğin beton dayanımıyla arttığını, etkili öngergi kuvvetleri ile azaldığını belirlemişler ve süneklik faktörü olarak bir katsayı önermişlerdir. Çalışmada, sundukları analitik statik modelin, dinamik yüke maruz çerçevelerin yatay yük-deplasman ilişkilerini belirlemek için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Filiatrault ve Tremblay (1998), çelik bir yapı modeli üzerinde yalnız çekmeye çalışan diyagonal elemanların yapının dinamik davranışına etkisiyle ilgili sarsma tablası deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada bu elemanların tasarımıyla ilgili bir yöntem sunmuşlardır. Geliştirilen yöntem sonuçlarını, deney sonuçlarıyla karşılaştırmışlar ve iyi bir uyum yakalandığını belirtmişlerdir.

Harris ve Sabnis (1999), kitaplarında yapısal modelleme, deneysel teknikler ve laboratuvar ölçüm cihazları konusunda oldukça detaylı bilgiler vermişlerdir. Kitapta yalnızca deprem mühendisliği değil, inşaat mühendisliği yapı deneylerinde kullanılabilecek her türlü yöntem, modelleme teorileri ve benzer konular incelenmiştir.

Wu (2000), yapısal kontrol konulu çalışmasında, üç katlı tam ölçekli bir yapıyı, ulaştığı sayısal sonuçları doğrulamak amacıyla sarsma tablası üzerinde test etmiştir.

Lu ve Chung (2001), çalıştıkları modal kontrol konusunda geliştirdikleri yöntemin doğruluğunu sınamak için tam ölçekli bir yapının sarsma tablası deneylerinin sonuçlarını kullanmışlardır.

Morin ve arkadaşları (2002), son gergi uygulanan ağırlık tipi barajlar üzerine yürüttükleri çalışmada, sarsma tablası üzerinde test ettikleri 3.4 metre yüksekliğinde bir baraj modeli kullanmışlardır. Dinamik yükleme altında kablo kopma ve göçme tiplerini belirlemişlerdir.

Filiatrault ve arkadaşları (2002), iki katlı tek odalı, yönetmeliklere göre tasarlanmış ve inşa edilmiş bir yapıyı sarsma tablası üzerinde test etmişlerdir. Araştırmada Güney Kaliforniya deprem kuşağındaki bu tarz yapıların dinamik karakteristiği araştırılmıştır. Yönetmeliklerin, yapının dinamik dayanımını sağlamak için yeterli olup olmadığı araştırılmıştır. Çalışmanın ikinci amacı duvar-çerçeve bağlantı elemanlarının sismik performansının araştırılmasıdır. Bu tarz elemanların kullanımıyla yapı sismik performansının ve duvar hasarlarının ne şekilde etkilendiği araştırılmıştır.

Wu ve Samali (2002), sismik temel yalıtımlı çelik bir yapı sistemini değişik deprem kayıtları için sarsma tablası üzerinde test etmişler ve sayısal sonuçları deney sonuçlarıyla kıyaslamışlardır. Çalışmada sismik temel yalıtımlarının deprem karakteristiğine göre tasarlanması gerektiği ve bu tarz yalıtıcıların bazı deprem kayıtları için etkisiz kaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Filiatrault ve arkadaşları (2003), ahşap binalar için kullanılacak bir sönüm modeli geliştirdikleri çalışmada, sayısal sonuçları sarsma tablası testlerinin sonuçları ile doğrulamışlardır.

Yoshida ve arkadaşları (2003), simetrik olmayan yapıların dinamik yüklemeye altında ortaya çıkan burulma davranışının “magnetorheological (MR)” sönümleyicilerle kontrolü üzerine bir çalışma yapmışlardır. İki katlı bir model yapıyı sarsma tablası üzerinde El Centro depremi kayıtlarını kullanarak test etmişlerdir. Çalışmada, MR sönümleyici kontrol sistemlerinde kullanılan yarı aktif kontrolcülerin, pasif sistemli kontrolcülere üstünlükleri gösterilmiştir.

Wu (2003), Tayvan Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezinde, yapıların deprem davranışını ivme geri dönüşü yoluyla azaltmayı ve kontrol etmeyi amaçlayan “Modified Sliding Mode Control (MSMC)” yöntemini test etmek için tam ölçekli çelik yapıyı ve merkeze ait sarsma tablasını kullanmıştır. Elde ettiği deney sonuçlarını sayısal sonuçlar ile karşılaştırarak, sayısal sonuçların doğruluğunu göstermiştir.

Popovski ve arkadaşları (2003), yaptıkları 15 adet sarsma tablası deneyinde, tek katlı bir yapı modelinde farklı bağlantılara sahip ahşap diyagonal elemanı kullanmışlardır. Araştırmada, ahşap binalarda geniş açıklıkları geçmek amacıyla

kullanılan ahşap diyagonal elemanlarının farklı bağlantı tiplerinin dinamik performansı incelenmiştir. Çalışma sonuçlarının geliştirecekleri analitik yöntem için kullanılacağını belirtmişlerdir.

Ghalibafian ve arkadaşları (2004), elektrik iletiminde kullanılan kondüktörleri, IEEE standartlarına uygun olarak test etmek amacıyla sarsma tablası deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Araştırmada, kondüktörler üzerindeki dinamik etki araştırılırken elektrik aktarımını sağlayan elemanların dinamik davranışının da hesaplara dahil edilmesi gerekliliği ortaya konmuştur.

Liao ve arkadaşları (2004), Danimarka Teknik Üniversitesi'nde geliştirilen, sürtünmeli sönüm cihazlarının kullanıldığı üç katlı bir yapı modelini sarsma tablası üzerinde test etmişlerdir. Bu sönüm elemanlarının yatay kat ötelemelerini etkili bir biçimde azalttığı sonucuna ulaşmışlardır. Deney sonuçları, kapasite spektrumu yönteminin incelenmesi için de kullanılmıştır.

Yu ve arkadaşları (2005), yapıların deprem etkisi altındaki davranışını belirlemek amacıyla gerçek bir yapıya zorlanmış titreşim testi uygulamışlardır. Çalışmadaki yenilik zorlanmış titreşimin doğrusal sarsıcı yardımıyla uygulanmasıdır. Zorlanmış titreşim testlerinde kullanılan eksantrik sarsıcıya alternatif bir yöntemi ortaya koymuşlardır.

Choi ve arkadaşları (2005), yakın fay bölgelerindeki nükleer güç istasyonlarının sismik davranışını belirlemek amacıyla 4 katlı çelik bir yapı modeli kullanarak sarsma tablası deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Chi- Chi depremine ait kayıtlar ve türetilmiş deprem kayıtları deneylerde kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, nükleer güç istasyonu yapılarının ağırlıklı frekansları deprem frekanslarından uzak olduğu için yapılar zarar görmese de daha çok yapıların içinde yüksek katlarda konumlandırılan ve yapısal olmayan elemanların deprem hareketinden daha çok etkilendiğini belirtmişlerdir.

Trombetti ve Conte (2005), tek katlı burulmaya elverişli yapılar üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada küçük bir yapı modeli ile gerçekleştirdikleri 88 adet sarsma tablası deneyinin sonuçlarını, geliştirdikleri sayısal yöntemin sonuçlarını doğrulamak amacıyla kullanmışlardır.

Hutchinson ve Chaudhuri (2006), yapısal olmayan ve kimya laboratuvarları gibi mekanlarda bulunan, deprem sırasında devrilme, göçme yüzünden can ve mal kayıplarına sebep olan tezgah-raf sistemlerinin dinamik davranışını sarsma tablası deneyleriyle belirlemişlerdir. Elde ettikleri deney sonuçlarını sayısal sonuçların sağlaması amacıyla kullanmışlardır.

Rodriguez ve arkadaşları (2006), küçük bir yapı modeli oluşturarak, yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik davranışını belirlemek amacıyla bir analitik yöntem geliştirmişlerdir. Analitik yöntemi doğrulamak ve kalibre etmek amacıyla yapı modelinin sarsma tablası deney sonuçlarını kullanmışlardır. Çalışmada, kirişlerin sismik davranışı gibi konulara değinmişler ve sönümün dinamik hareket süresince sabit kalmayıp değiştiğini belirlemişlerdir. Analitik modelde, modlar için sarsma tablası deneylerinden elde ettikleri viskoz sönüm oranlarını kullanmışlardır.

2.3. Sıvı-Yapı Etkileşimi İle İlgili Çalışmalar

Bu bölümde, sıvı-yapı etkileşimi deneyleri ile ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

Westergaard (1931), Hazne duvarına etkiyen impulse kütesine bağlı hidrodinamik basıncın belirlenmesine yönelik çalışmalar yapmıştır. Daha sonra, Abramson (1966), Bauer (1971, 1971, 1992), Housner (1957, 1963) ve veletsos (1976,1984) tarafından geliştirilen analitik yöntemlerle salınım kütesinin etkilerinin de hesaba katılabildiği farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Dieterman (1986, 1988, 1993), bu çalışmalara ek olarak ayaklı depoların hazne kısmındaki bacanın da hesaba katıldığı bir modeli Bauer in kullandığı yaklaşımdan faydalanarak geliştirmiştir.

Koh ve arkadaşları (1998), küçültülmüş üç boyutlu bir sıvı tankı modeli kullanarak, deprem hareketi sonucu oluşan sıvı-yapı etkileşimi problemini araştırmışlardır. Çalışmada, deneysel veriler, sarsma tablası kullanılarak elde edilmiş ve yazarların geliştirdikleri sonlu eleman-sınır eleman karma modelinin analitik sonuçlarını doğrulamak amacıyla kullanılmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

Deprem mühendisliği, yapıların deprem yüklemeleri altındaki dinamik davranışını inceleyen bilim dalıdır. Yapıların sismik karakteristiğinin belirlenmesi için gerekli araştırmaları gerçekleştirmektedir. Bu karakteristiğin belirlenmesi için gerekli deneysel ve analitik çalışmaları araştırmakta ve geliştirmektedir.

Yapı sistemleri ve yapısal olmayan elemanların sismik karakterinin belirlenmesi öncelikli amaç olsa da, yapılan testlerin amaçları maddeler halinde şöyle özetlenebilmektedir (Sollogoub, 2006).

- a) **Kalite kontrol:** Deprem sonrası kullanılması gereken önemli donanımların (hastane donanımları, iletişim donanımları, jeneratörler vb.), kimyasal depolama tankları vb donanımların deprem esnasındaki hasar veya hasarsızlık durumunu belirlemek.
- b) **Analitik modellerin geçerliliğini sınamak:** Bir yapı ya da donanımın tamamı veya bir parçası için kurulan sayısal modeli, gerçek sınır şartları, sönüm vb etkileri göz önüne alarak sınamak.
- c) **Yönetmelik ve standart kurallarını sınamak:** Yönetmeliklerde belirtilen şartları ve yöntemleri modellemek.
- d) **Benzeri olmayan yapı veya donanımın sınanması:** Özel amaçlı yapılan veya halihazırda yönetmeliği bulunmayan yapı ve donanımlarını test etmek, beklenen şekilde davranıp davranmadığını belirlemek.
- e) **Araştırma ve geliştirme çalışmaları:** Özellik gösteren bir yapının doğrusal olmayan davranışını test etmek vb.

Yukarıda anlatılan amaçlar doğrultusunda, bir deprem hareketinin tekrar benzeştirilmesi ve üzerindeki bir model yapıya uygulaması için en uygun yöntem sarsma tablası donanımıdır. Bu çalışmada 2.10 metre yüksekliğinde, paslanmaz çelikten bir ayaklı su deposu inşa edilmiş, sarsma tablası üzerine yerleştirilip geçmiş deprem kayıtları altında deneyler yapılmıştır. Deneysel modelleme teknikleri ve teorileri ve kullanılan yöntemleri bölümler halinde sunulmaktadır.

3.1. Sarsma Tablası

3.1.1. Giriş

Deprem hareketinin benzeştirilmesi konusunda en doğal yaklaşım olan sarsma tablaları özellikle servo motor, elektronik ve bilgisayar alanındaki gelişmeler sonucu 60 ve 70'li yıllar sırasında ilerleme göstermişlerdir. Sarsma tablalarının temel çalışma prensibi, rijit bir plakanın üzerindeki modelin istenilen hız ve ivmeyle bir tahrik mekanizması tarafından hareket ettirilmesidir. Uygulanan ivme kaydı ve hareket, geçmiş bir deprem kaydı olabileceği gibi, türetilmiş herhangi bir hareket de olabilir. Burada önemli nokta tablaların sınırlı sarsma kapasitelerinden dolayı ölçekli modellerin kullanılması gerekliliğidir.

Sarsma tablalarının tahrik mekanizmasını kontrol altında tutmak için bilgisayar sistemleri kullanılmaktadır. Hidrolik tahrikli sistemlerde, bu kontrol sisteminin parçalarını servo-valf, servo sürücü, LVDT gibi elemanlar oluşturmaktadır. Elektrik motorlu sistemlerde ise servo sürücü, bilgisayar-servo sürücü iletişimini sağlayan harici de olabilen bilgisayar kartları sistemin elemanları arasına dahil edilmektedir. Sistemin önemli bileşenlerinden biri de yazılımdır. Yazılım, istenilen fonksiyonu sürücüye ileten en önemli bileşen olarak sistemin bir parçası haline gelmektedir (Baran, 2008).

3.2. Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Sarsma Tablası (CUSHAKE)

Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarı'ndaki, elektrik motorlu, tek eksenli Sarsma Tablası 50 kN sarsma kapasitesine sahip olan bir tabladır. Bu kapasitenin 15 kN'luk kısmı rijit plaka ve güçlendirmeleri tarafından kullanılmaktadır. Geriye kalan 35 kN ise faydalı yük (model yapı ağırlığı) kapasitesi olarak ortaya çıkmaktadır.

CUSHAKE, sarsma tablasının fiziksel özellikleri ve motor karakteristikleri Çizelge 3.1'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.1. CUSHAKE Fiziksel Özellikleri (Baran, 2008)

Özellik	Değer	Birim
Tabla Boyutu (BxL)	150x200	cm
Deplasman Sınırları	± 5	cm
Hız Sınırları (Yazılımla Sınırlandırılmış)	± 40	cm/s
Maksimum İvme	1 g	(g=9.81 m/s ²)
Çalışma Frekans Aralığı	0~25	Hz
Maksimum Motor Kuvveti	50	kN
Motor Gücü	45	kW
Tabla Kütlesi	1500	kg
Faydalı Sarsma Kapasitesi	3500	kg

CUSHAKE, tek ekseninde uygulanması istenen gelişigüzel bir ivme kaydını uygulayabilen sarsma tablasıdır. Tabla taşıyıcı bir ızgara sistem üzerine oturan rijit bir plakadan oluşmaktadır. Plaka bir ray sistemi ve düşük sürtünmeli mesnetler aracılığı ile ızgara sisteme bağlı bir elektrik motoru tarafından ileri ve geri hareket ettirilmektedir. Taşıyıcı ızgara sistemi laboratuvar zeminine ankraj çubukları ve elastomer mesnetler kullanılarak sabitlenmiştir.

Motor kontrolü, bilgisayar aracılığıyla idare edilen bir servo sürücü tarafından sağlanmaktadır. Servo sürücü ve bilgisayar bağlantısını bir kontrol kartı sağlamaktadır ve 5 veya 10 milisaniye aralıklı komutlar bu sürücü tarafından işlenebilmektedir. Kontrol kartı bilgisayardan aldığı ivme veya hız verisini okuyarak, servo sürücüye iletmekte ve deplasman okuma cihazından gelen deplasman verisini kaydetmektedir.

Sarsma tablası, Win32 tabanlı bir yazılım aracılığıyla kontrol edilmektedir. DEPSİM adı verilen bu yazılım, bir editör programdan aldığı liste halindeki ivme verisini kontrol kartına bilgisayar seri portu aracılığı ile iletmektedir. Servo sürücü

hız verisi işleyebildiği için program editörden aldığı ivme verisini Denklem 3.1'i kullanarak hız verisine dönüştürmekte ve daha sonra karta aktarmaktadır.

$$v_i = \frac{a_i + a_{i-1}}{2} \times \Delta t + v_{i-1} \quad (3.1)$$

Denklemde, v_i ve v_{i-1} ise sırasıyla i inci ve $(i-1)$ inci adımdaki hız değerlerini, Δt zaman adımını, a_i ve a_{i-1} i inci ve $(i-1)$ inci adımdaki ivme değerlerini göstermektedir.

Daha sonraki aşamada kartta depolanan bu veri açısal hız cinsinden servo sürücüye yüklenmekte, bilgisayardan gelen komutla servo sürücü motoru harekete geçirmektedir. Deprem verisinin kartta depolanmasındaki amaç işletim sisteminden kaynaklanabilecek gecikmelerin önüne geçmektedir. Deney sırasında kontrol kartı potansiyometrik deplasman ölçerden aldığı ve depoladığı verileri talep edilmesi halinde DEPSİM aracılığı ile bilgisayara aktarmaktadır. DEPSİM bu veriyi istenilen editör yazılıma liste halinde yazmaktadır. DEPSİM yazılımında veriler 5 ve 10 milisaniye aralıklarla işlenebildiği için, uygulanmak istenen veri farklı zaman adımlarına sahipse basit bir interpolasyon algoritması kullanılarak 5 veya 10 milisaniyelik zaman adımlarına göre düzenlenmelidir.

3.3. Veri Toplama Sistemi (VTS)

Yapı dinamiği deneylerinde kullanılan ölçme sistemleri, deneylerin zamana bağlı ve çok kısa süreli karakterleri yüzünden çok küçük zaman aralıklarında yüksek çözünürlüklü veri alabilecek kapasitede olmaktadır. Bu veri toplama sistemleri ve bileşenleri aşağıda açıklanmaktadır.

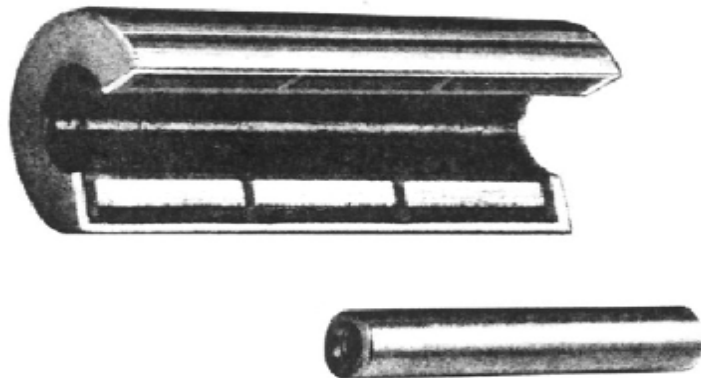
3.3.1. Veri Toplama Donanımı (Data Logger)

Dinamik deneylere uygun olarak, çok küçük zaman aralıklarıyla verileri kaydedip bilgisayar ortamına aktarmaktadır. Örnekleme hızları yüksektir ve elde edilen veriyi filtreleyebilecek bir donanıma sahip olmaktadır. Cihazlara bağlanan ve fiziksel büyüklüğü ölçüp elektriksel büyüklüğe çeviren bileşenlere genel olarak

transdüser (algılayıcı, sensor) adı verilmektedir. Veri toplama cihazları (veri edinme cihazları) genellikle çok kanallı olmaktadır. Cihaz kullanıcı tarafından belirlenen zaman aralığına bağlı olarak her bir kanalı taramakta ve burada bağlı bulunan algılayıcının uçlarındaki elektriksel büyüklüğü kaydetmektedir. Bu büyüklük bilgisayara aktarılmakta ve cihazda elektriksel büyüklüğü fiziksel büyüklüğe çevirmek için seçenek mevcutsa bu fiziksel büyüklük cinsinden kullanıcıya sunulmaktadır. Eğer bu seçenek cihazda yoksa, elektriksel büyüklük kullanıcı tarafından fiziksel büyüklüğe dönüştürülmektedir. Dinamik deneylerde aranan büyüklükler genellikle, ivme, deplasman, hız ve kuvvetler olarak tarif edilmektedir. İkinci aşamada gerilme ve şekil değiştirme gibi büyüklükler gelmektedir. Önemli büyüklük olan deplasman bu çalışmada kullanıldığı için bu büyüklüğü ölçen cihaz aşağıda tanıtılmıştır.

3.3.2. Doğrusal Deplasman Ölçme Cihazı (Linear Variable Differential Transformer, LVDT)

Deplasman ölçmeye yarayan bir ayardır. Uygulamaya ve bağlantı şekline göre şekil değiştirme de ölçülebilmektedir. Oldukça hassas olan bu cihaz iki ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Schaevitz markalı bir LVDT'nin kesit fotoğrafı (Harris ve Sabnis, 1999)

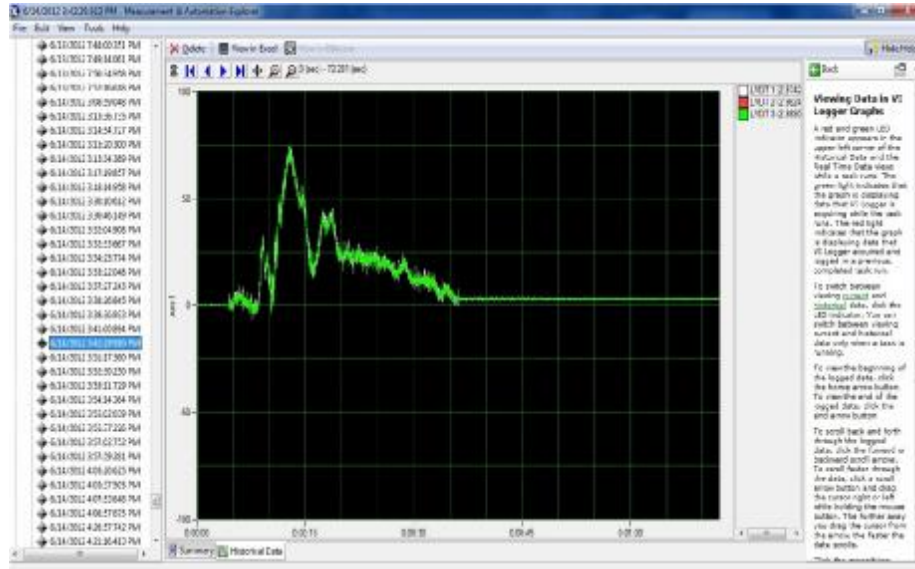
Dış bölümü olan transformatör içinde bobinler mevcuttur ve hareket etmemektedir, içerde ise hareket edebilen bir çekirdek bulunmaktadır. Yapının deplasmanı hareket eden çekirdek bobinin uçları arasında elektriksel bir potansiyel farkı oluşturmaktadır. Böylelikle deplasman değişimi modelden okunmakta ve kayıt yapılmaktadır. LVDT tipi cihazların çözünürlüğü yüksek olduğu için çok tercih edilmektedir. Statik ve dinamik her türlü uygulamada kullanılabilir.

3.4. Sarsma Tablası Veri Toplama Sistemi (VTS)

Deneysel hassas veri toplayabilmek için, bir veri toplama sistemi kullanılmıştır. Veri toplama cihazı olarak, yazılımıyla birlikte 4 kanallı ve kanal başına saniyede 100000 örnekleme alabilen National Instruments 9215A modeli bir veri edinme cihazı (data logger) sistemin en önemli bileşenidir. Gerekliğinde farklı uygulamalar için de kullanılacak cihaz Şekil 3.2’de, yazılım ekranı ise Şekil 3.3’de görülmektedir. Sistemin deplasman ölçmekte kullanılan bileşenleri Şekil 3.4’te görülen Schaevitz DC-SE serisi 15 cm stroklu LVDT’lerden oluşmaktadır. Bu LVDT’lerden Çukurova Üniversitesi İnsaat Mühendisliği Laboratuvarı’nda üç adet bulunmaktadır.



Şekil 3.2. National Instruments veri toplama cihazı



Şekil 3.3. Veri toplama sistemi yazılımı ekran görüntüsü



Şekil 3.4. Modele bağlı LVDT

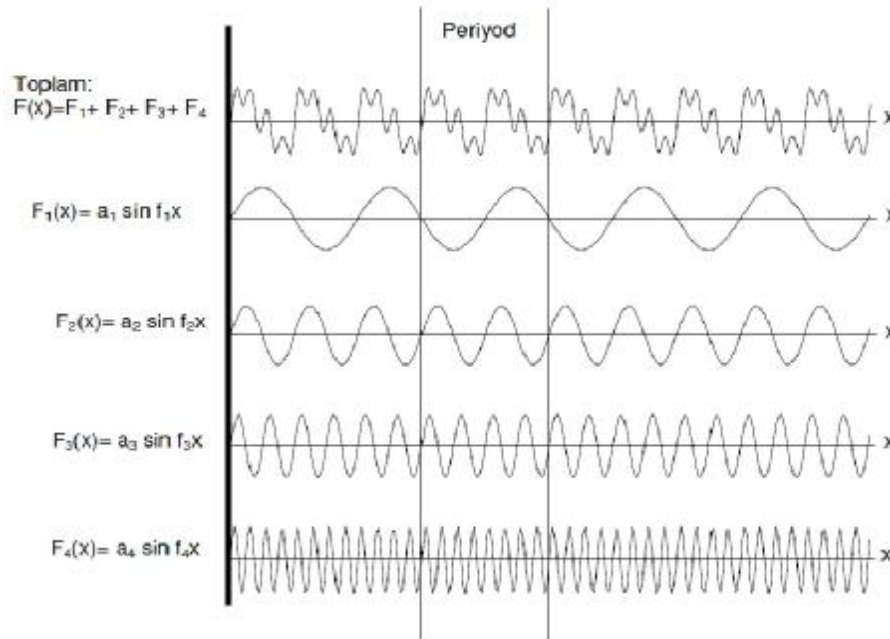
3.5. Sinyal/Veri İşleme

Veri toplama cihazında fabrika çıkışı bir filtreleme prosedürü bulunmaktadır. Ancak ölçülecek deplasman ve ivme çok küçük olduğunda veri edinme işleminden sonra tekrar dijital bir filtreleme gerekebilmektedir. Filtreleme, gürültü olarak

adlandırılan ve ortam şartlarında bulunan elektromanyetik alan vb. gibi etkilerden dolayı elektronik cihazlardan elde edilen sinyallerindeki bozuklukları gidermek amacıyla kullanılmaktadır.

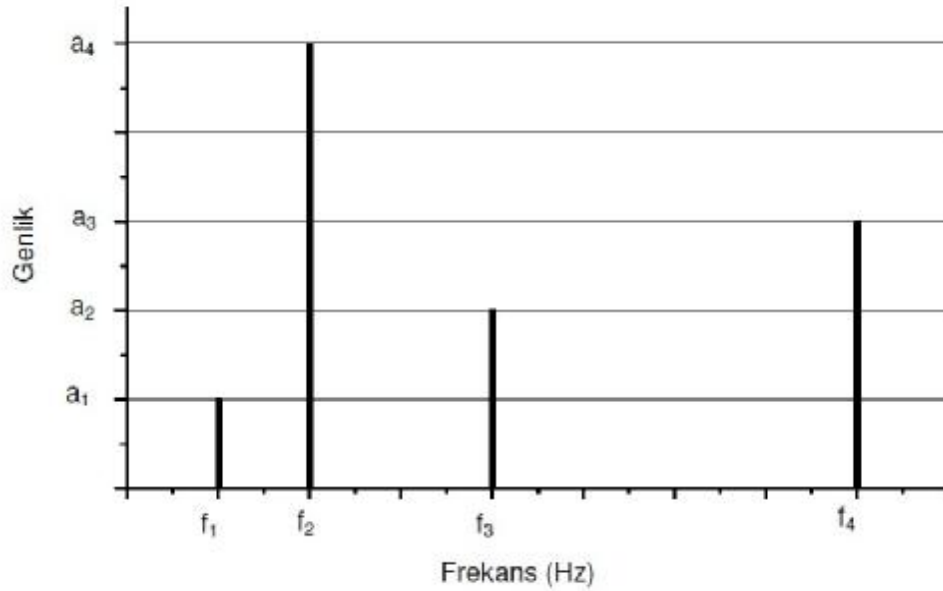
3.5.1. Filtreleme

Filtreleme yapılabilmesi için zaman uzayında ölçülen sinyalin, frekans uzayında incelenmesi gerekmektedir. Bu işlemde en çok tercih edilen dönüşüm yöntemlerinden biri Fourier Dönüşümleri'dir (Fourier Transform). Fourier Dönüşümü'nde, ifadesi bilinmeyen herhangi periyodik bir fonksiyonun, ifadesi bilinen sonsuz sayıdaki periyodik fonksiyonların toplamı olarak gösterilebileceği kabulü yapılmaktadır. Periyodik bir fonksiyonun, harmonik sinüs veya kosinüs fonksiyonları cinsinden ifadesi için Fourier tarafından tanımlanan dönüşüm formülleri kullanılmaktadır. Şekil 3.5'te periyodik bir fonksiyonun dört ayrı sinüs fonksiyonun toplamı cinsinden ifadesi görülmektedir.



Şekil 3.5. Periyodik bir fonksiyonun sinüs formlu fonksiyonlarla ifadesi (www.originlab.de)

Ölçüm sonucu Şekil 3.5'teki gibi bir periyodik fonksiyon elde edilmiş ise ifadesi bilinmeyen fonksiyon değerleri Ayrık Fourier Dönüşüm (Discrete Fourier Transform-DFT) algoritmaları yardımıyla zaman uzayından frekans uzayına dönüştürülmektedir. Yapılan bu işleme Spektrum Analizi adı verilmektedir. DFT algoritmalarının daha hızlı bir şekilde hesaplanmasını sağlayan formülasyonlara ise Hızlı Fourier Dönüşüm (Fast Fourier Transform-FFT) adı verilmektedir. Şekil 3.5'te görülen karmaşık periyodik fonksiyonun spektrum analizi yapılırsa, periyodik fonksiyonun spektrum grafiği Şekil 3.6'teki gibi olmaktadır.

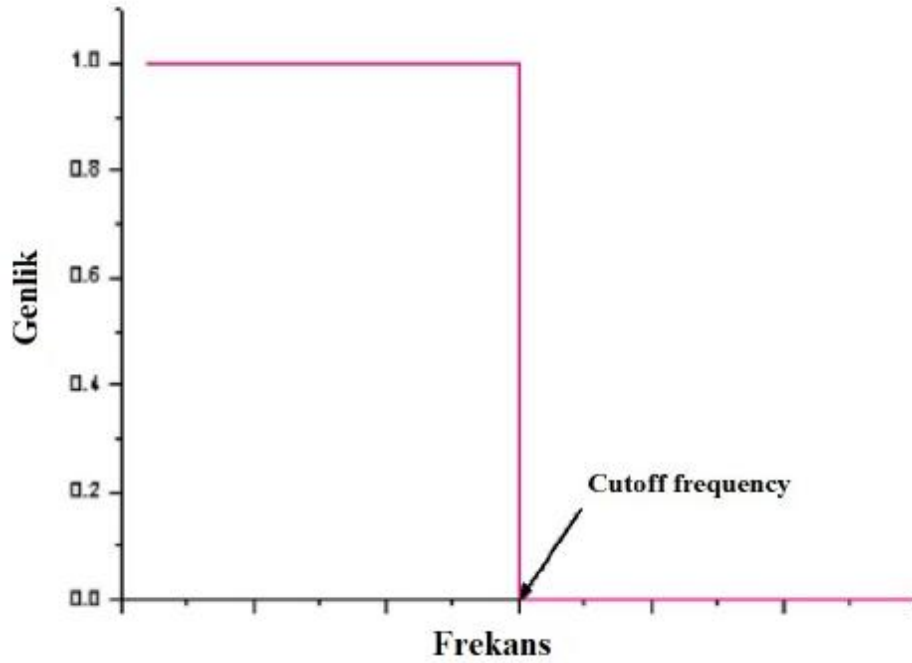


Şekil 3.6. Periyodik bir fonksiyonun spektrum grafiği (www.originlab.de)

Şekil 3.6'daki gibi bir spektrum grafiğinden periyodik fonksiyonda hangi frekans bileşenlerinin bulunduğu analiz edilebilmektedir. 89 Bu amaçla kullanılan çeşitli filtreler mevcuttur. Bu filtreler aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

3.5.1.1. Alçak Geçiren (Low Pass) Filtre

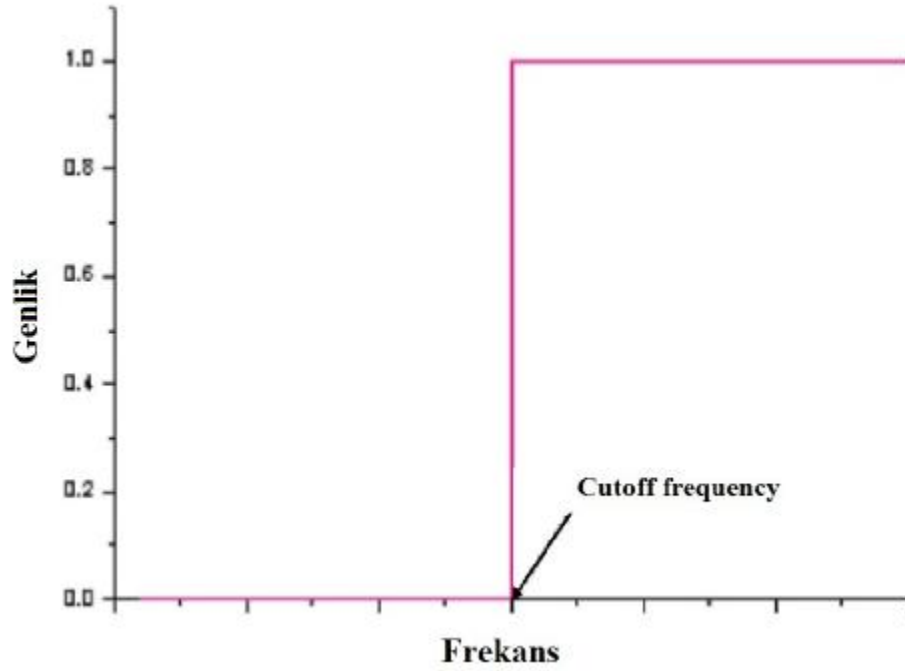
Alçak geçiren filtrede kesme frekansı (cutoff frequency- F_c) adı verilen bir frekans değerinden küçük frekansa sahip harmonik fonksiyonlar, ifadesi bilinmeyen periyodik fonksiyonun yeniden ifadesi için kullanılmaktadır. Frekans değeri F_c 'den büyük olan hareketler gürültü olarak ayıklanmaktadır. Şekil 3.7'de alçak geçiren filtre görülmektedir.



Şekil 3.7. Alçak Geçiren Filtre (www.originlab.com)

3.5.1.2. Yüksek Geçiren (High Pass) Filtre

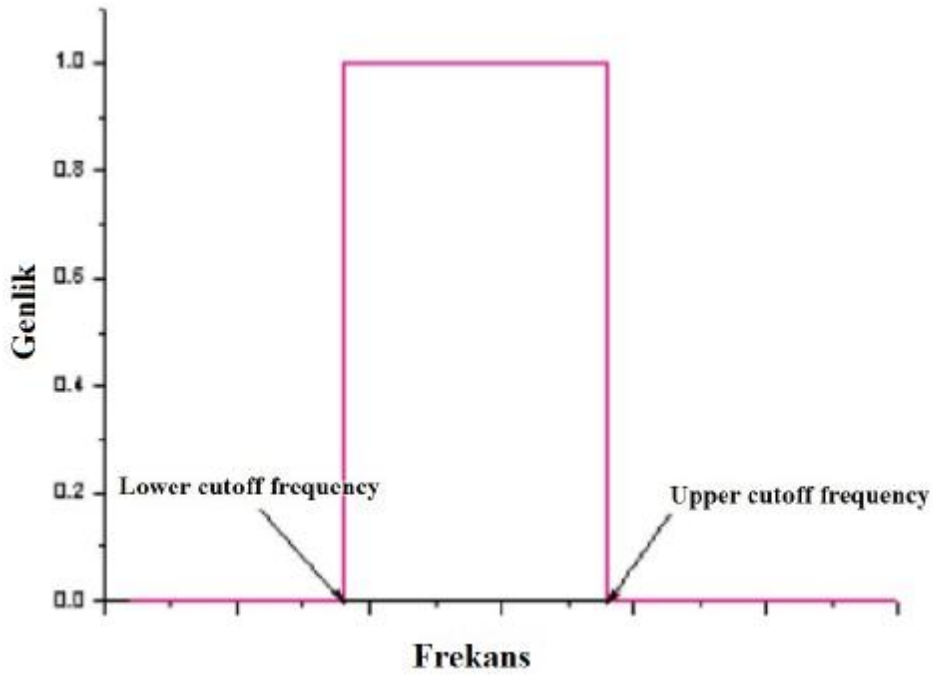
Yüksek geçiren filtrede kesme frekansı (cutoff frequency- F_c) adı verilen bir frekans değerinden büyük frekansa sahip harmonik fonksiyonlar, ifadesi bilinmeyen periyodik fonksiyonun yeniden ifadesi için kullanılmaktadır. Frekans değeri F_c 'den küçük olan hareketler gürültü olarak ayıklanmaktadır. Şekil 3.8'de alçak geçiren filtre görülmektedir.



Şekil 3.8. Yüksek Geçiren Filtre (www.originlab.com)

3.5.1.3. Band Geçiren (Band Pass) Filtre

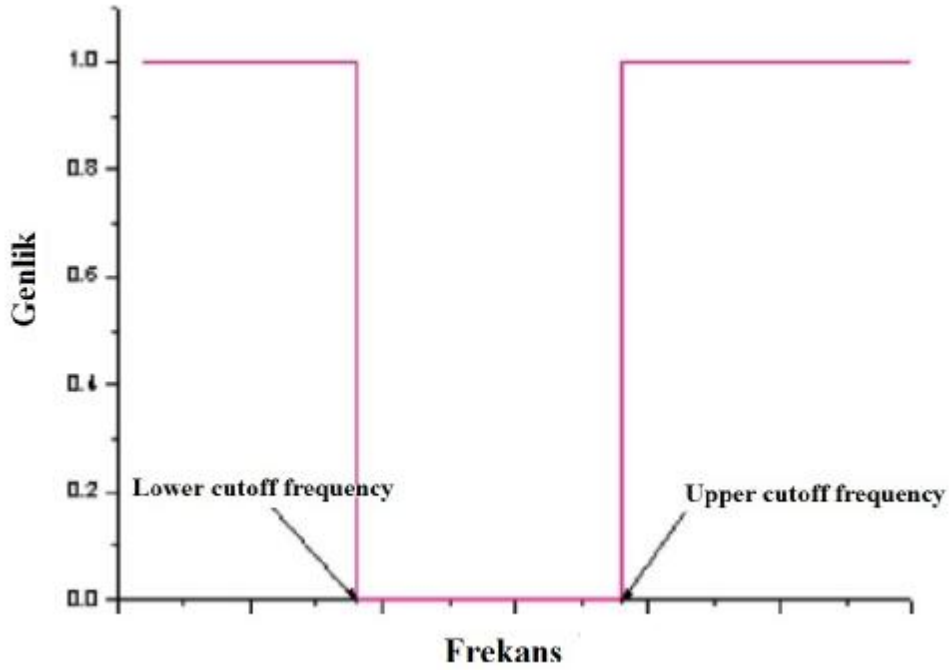
Band geçiren filtrede belirlenen iki kesme frekansı (F_{c1} , F_{c2}) değerinin arasında kalan frekansa sahip harmonik fonksiyonlar, ifadesi bilinmeyen periyodik fonksiyonun yeniden ifadesi için kullanılmaktadır. Frekans değeri F_{c1} (lower cutoff frequency)'den küçük ve F_{c2} (upper cutoff frequency)'den büyük olan hareketler gürültü olarak ayıklanmaktadır. Şekil 3.9'da band geçiren filtre görülmektedir.



Şekil 3.9. Band Geçiren Filtre (www.originlab.com)

3.5.1.4. Band Blok (Band Block) Filtre

Band blok filtrede belirlenen iki kesme frekansı (F_{c1} , F_{c2}) değerinden büyük ve küçük frekansa sahip harmonik fonksiyonlar, ifadesi bilinmeyen periyodik fonksiyonun yeniden ifadesi için kullanılmaktadır. Frekans değeri F_{c1} 'den büyük ve F_{c2} 'den küçük olan hareketler gürültü olarak ayıklanmaktadır. Şekil 3.10'da band blok filtre görülmektedir.



Şekil 3.10. Band Blok Filtre (www.originlab.com)

Bu çalışmada kullanılan filtreleme yöntemi, deplasman büyüklüklerinde genelde etkin hareket frekansı belli bir aralıkta olduğu için band geçiren (band pass) filtrelemedir. Bu işlem gerekli olduğu takdirde deney sonrası yardımcı yazılımlar kullanılarak yapılmaktadır. Filtrelenecek verinin kesme frekansı (cutoff frequency) Fourier genlik spektrumu incelenerek belirlenmiştir.

3.6. Su Depoları İçin Sıvı-Yapı Etkileşiminin Değerlendirilmesi

Sıvı depolamak için ya da çeşitli nedenlerle inşa edilmelerine rağmen yapılarında büyük sıvı kütlelerini de bulunduran sistemler, gerek statik olarak gerekse de dinamik olarak sıvı sebebiyle ek yüklerin etkisinde kalmaktadır. Statik olarak durum yaygın olarak bilinen şekliyle hidrostatik basınçlardan ibaret iken, dinamik halde sıvının ve deponun geometrik ve mekanik özelliklerine bağlı olarak çeşitli şekillerde etkileşimin ortaya çıkması muhtemeldir. Örneğin sıvının geometrik olarak sınırlarına, sıkışabilirlik durumuna ve viskozite gibi özelliklerine bağlı olarak etkileşimde çeşitli farklılıklar oluşabilmektedir.

Livaoğlu'nun bildirdiğine göre (Livaoğlu, 2005), depo-sıvı sistemlerinin dinamik bir etki altında kaldığı durumlarda davranışlarında başlıca iki hareketten söz edilebilmektedir. Bunlardan ilki depo ile birlikte hareket eden sıvı kütlesi (impulse kütlesi) ikincisi ise bunlardan bağımsız olarak hareket eden ve impuls kütlesine nazaran değişik periyotlarla salınım yapan sıvı kütleleri veya diğer adıyla salınım kütleleri dir. Genel olarak literatürde bulunan ilk çalışmalar, Westergaard (1931) tarafından yapılanlarda da olduğu gibi deponun duvarına etkileyen impuls kütlesine bağlı hidrodinamik basıncın belirlenmesine yönelik olarak başlatılmıştır. Daha sonra, Abramson (1966), Bauer (1971; 1972; 1992), Housner (1957; 1963) ve Veletsos (1976; 1984) tarafından geliştirilen analitik yöntemlerle salınım kütesinin etkilerinin de hesaba katılabildiği farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu çalışmalara ek olarak Dieterman ayaklı depoların depo kısmındaki bacanın da hesaba katıldığı bir modeli Bauer'in kullandığı yaklaşımdan faydalanarak geliştirmiştir (Dieterman 1986; 1988; 1993). Bu sebeple temel olarak geliştirilen analitik yöntemler tek kütleli, iki kütleli ve çok kütleli sistemler olarak sınıflandırılabilirler. Bu tür analitik yaklaşımlar genelde pratik çözümlerlerde kullanılmıştır.

3.6.1. Analitik Yaklaşım

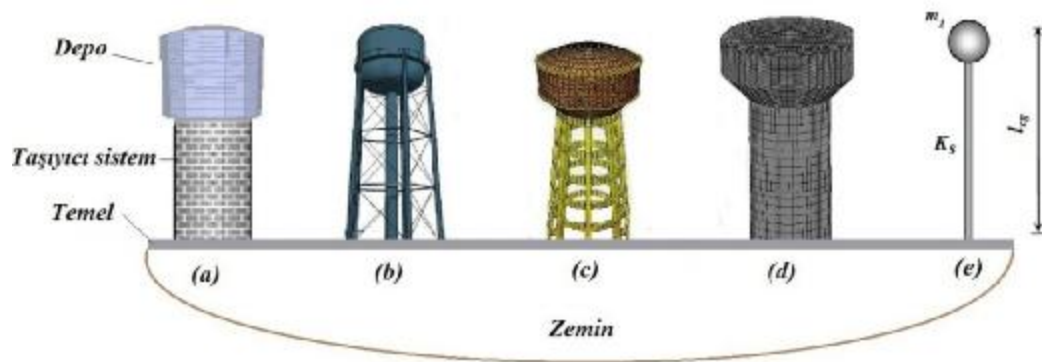
3.6.1.1. Tek Kütleli Sistem

Ayaklı depoların deprem davranışlarına ilişkin ilk çalışmalar 1950'lerin başlarında geliştirilen tek kütleli sistem yaklaşımı ile gerçekleştirilmiştir (Chandrasekaran ve Krishna, 1954). Bu yaklaşıma göre çeşitli taşıyıcı sistemlere sahip ayaklı depolar ve seçilen mekanik model Şekil 3.11'de verilmektedir. Burada temel olarak iki önemli konu ortaya çıkmaktadır. Bunlardan ilki sıvının davranışıyla ilgilidir. Eğer depo tamamen su ile dolu ve sıvı hiçbir şekilde salınım yapmıyorsa sıvının tüm kütesini depo kütlesi ile beraber göz önüne alıp bütün sistemi tek kütleli bir sistem gibi düşünmek mümkün ve gerçekçidir. Buna karşın depo içerisinde bulunan sıvı salınım yapıyorsa, bütün sıvı kütesinin yapıyla birlikte hareket ettiği kabulü gerçekten uzak sonuçlar elde edilmesine neden olabilmektedir. İkinci önemli

konu ise taşıyıcı sistemin şeklidir ki, bu durum rijitliğin sürekliliği, taşıyıcı sisteme ait sönüm ve süneklik karakteristikleri gibi parametreleri etkilendiğinden tüm sistemin davranışını olumlu ya da olumsuz şekilde değiştirebilmektedir. Genel olarak standartlarda kullanılan bu yaklaşım tarzı özellikle kabuk taşıyıcı sisteme ait rijitliğin bütün yükseklik boyunca sürekli olması durumunda, diğer taşıyıcı sistemlere göre daha etkili olarak uygulanabilir. Mekanik modellerde kullanılacak değişik türde ayak taşıyıcılarının rijitliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar da gerçekleştirilmiştir. Dutta ve çalışma arkadaşları tarafından çerçeve taşıyıcı sisteme sahip ayak için düşey, yatay ve burulma rijitlikleri belirlenmiştir (Dutta vd., 2000a; 2000b; 2001). Bu rijitliklerden çerçeve taşıyıcı sisteme sahip ayak için yatay rijitlik (3.2) bağıntıyla belirlenebilmektedir.

$$k_s = \frac{12.E_{cl}.I_{cl}.N_{cl}}{h_{cl}^3} \left[\frac{1}{\frac{2.I_{cl}N_p(4N_p^2-1)}{A_cR_s^2} + N_p + 2(N_p-1) \frac{E_{cl}I_{cl}/h_{cl}}{E_bI_b/L}} \right] \quad (3.2)$$

Burada E_{cl} , L ve I_b ise her bir panelde bulunan sırasıyla kirişe ait Elastisite Modülünü, kiriş açıklığını ve kirişe ait eylemsizliği, N_p ayakta kullanılan panel sayısını ve R_s ise ortalama ayak yarıçapını göstermektedir.



Şekil 3.11. Ayaklı depolara ait tek kütleli mekanik model (a) yığma taşıyıcı sisteme sahip depo, (b) çelik kafes yada betonarme çaprazlı çerçeve taşıyıcı sistemli depo, (c) betonarme çerçeve taşıyıcı sisteme sahip depo, (d) betonarme silindirik kabuk taşıyıcı sisteme sahip depo, (e) tek kütleli mekanik model

Şekil 3.11’de tek kütleli mekanik model yaklaşımı değişik standartlarda önerilmekle birlikte, bazı yönetmeliklerde kullanılabilmesi için kısıtlamalar mevcuttur. Örneğin Hindistan’a ait deprem yönetmeliğinde (IS:1893-1984) depoda bulunan bütün sıvı kütlelerinin impuls kütleleri olarak yapıyla birlikte hareket edeceğinin her koşulda düşünebileceği ifade edilmektedir (Rai, 2002). Depo derinliğinin yarıçapına oranının 4’ten küçük olduğu çok sığ depo haznesine sahip ayaklı depolar için salınım kütlelerinin etkilerinin önemli olduğu düşünülürse, bu kabulün her durumda gerçekçi sonuçlar üretmeyeceği söylenebilir. Bu yönetmeliğe benzer şekilde American Concrete Institute (ACI 371R-98, 1998) tarafından önerilen ve halen uygulamada olan bir diğer yaklaşım tarzı daha mevcuttur. Bu yaklaşım tarzında su ağırlığının (W_w), yapı ağırlığı, su ağırlığı ve varsa hareketli yüklerin %25’inin toplamını ifade eden (W_G) ağırlığına oranının %80 den fazla olduğu durumlarda tek kütleli yaklaşımın aşağıdaki verildiği şekliyle uygulanabileceği ifade edilmektedir (ACI 371R-98, 1998).

Bu yaklaşıma göre sistem yatayda (I_c) eylemsizliğine ve (K_c) rijitliğine sahip bir kiriş gibi düşünülmektedir. Bu sistemin yatay rijitliği (K_s) aşağıdaki bağıntıyla belirlenebilir (ACI 371R-98, 1998).

$$K_s = \frac{3EI_c}{l_{cg}^3} \quad (3.3)$$

Burada l_{cg} depoda bulunan sıvının ağırlık merkezinden taşıyıcı sistemin mesnetlendiği temel sistemine olan mesafeyi, E ayağa ait Elastisite modülünü, I_c ise betonarme taşıyıcı sisteminin eylemsizliğini göstermektedir. Kabuk türü ayak taşıyıcı sistemine sahip depolar için bu eylemsizliğin belirlenmesinde herhangi bir güçlük bulunmazken çerçeve taşıyıcı sisteme sahip ayaklı depolarda ise durum böyle değildir. Bu sebeple çerçeve taşıyıcı sistemler için yatay rijitlik (K_s) birçok parametreye bağlı olarak (3.2) bağıntısıyla hesaplanabilmektedir. Bu sistemin doğal titreşim periyodu (T) için aşağıdaki bağıntı önerilmektedir (3.4).

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_L}{g \cdot k_s}} \quad (3.4)$$

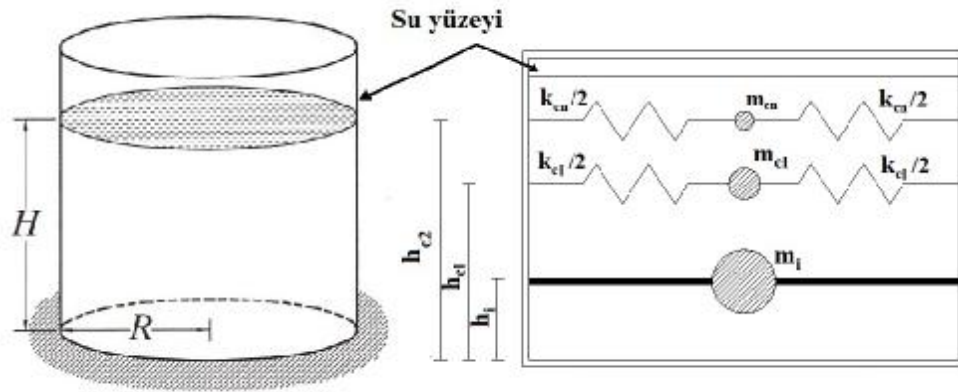
Burada g yer çekimi ivmesini, W_L göz önüne alınan tek kütleli sistemin depo ağırlığının tümünü, taşıyıcı sisteminin ağırlığının %66'sını ve sıvı toplam ağırlığının tümünü içeren ağırlık değerini göstermektedir.

3.6.1.2. Çok Kütleli Sistem

Silindirik bir depo içerisinde bulunan sıvının dinamik davranışını ifade etmek (Şekil 3.12) için Bauer, Housner ve Veletsos gibi araştırmacılar salınımın da hesaba katılabildiği kütle-yay modellerini önermişlerdir. Sıvının dinamik davranışı düşünüldüğünde impuls kütlelerine (m_i) ek olarak değişik frekans değerlerine sahip birden çok salınım kütlelerini de (m_{ci}) tanımlamak mümkündür. Bu sebeple impuls kütlelerinin depo ile beraber hareket etmesi, belirlenen kütlelerin depo duvarına rijit bir şekilde bağlı olduğunu düşündürmektedir. Salınım kütlelerinin her birinin ise salınım frekanslarına bağlı olarak (3.5) bağıntısından belirlenecek bir rijitlikle depo duvarına, salınım yapan sıvı seviyesinde bağlı oldukları kabul edilmektedir (Şekil 3.12).

$$\omega_{ci}^2 = \frac{g}{R} 1.84 \times th \left(\frac{1.84 \cdot h}{R} \right) ; \quad k_{ci} = m_{ci} \omega_{ci}^2 \quad (3.5)$$

Burada m_{ci} , ω_{ci} k_{ci} sırasıyla i. salınım kütlelerini, açısal frekansını ve rijitliğini göstermektedir.



Şekil 3.12. Kütle-yay modeli ile sıvı davranışının mekanik olarak tanımlanması, (m_c salınım kütleleri, m_i impuls kütleleri, h sıvı yüksekliği, h_{ci} salınım kütlelerinin yükseklikleri, h_i impuls kütlelerinin yüksekliği, R deponun yarı çapı, k_{ci} salınım kütlelerinin rijitlikleri)

Yapılan araştırmaların bir kısmında pratik amaçlar için söz konusu salınım kütlelerinin bir tanesinin dikkate alınması, diğer kütlelerin ise ihmal edilebileceği belirtilmiştir (Housner, 1963; Shepherd, 1972). Burada belirtilen analitik modeller genellikle depoların pratik hesaplarında kullanıldıklarından ilk salınım kütlelerinin hesaba katılmasının yeterli olduğu diğerlerinin yapı üzerinde önemli bir etkilerinin olmadığı literatürde yapılan çalışmalardan bilinmektedir (Haroun ve Ellaithy, 1985). Bu yöntemlere ek olarak Bauer ve Siekmann (1971) ve Haroun ve Housner (1981) silindirik yer üstü sıvı depoları için duvar esnekliğinin de hesaba katıldığı çalışmalar sonucu çok kütleli mekanik modeller de önermişlerdir. Silindirik depoların dinamik analizinde literatürde kullanılan başlıca yaklaşım aşağıda görölmektedir.

3.6.2. Housner'in İki Kütleli Sistem Yaklaşımı

Housner (1963) silindirik depolar için ;

1. Depo duvarının sıvıyla temasta bulunan yüzeyinin düşey ve düz olduğu,
2. Depo duvarının rijit olduğu,
3. Sıvının sıkışmaz, viskositesiz olduğu,
4. Sıvının salınımından doğan yerdeğiştirmelerin küçük olduğu,
5. Sıvının dönmesiz olduğu,
6. Sıvının yatayda bir dinamik etkiye maruz kaldığında düşey membranlar arasında hareket ettiği,
7. Hareket esnasında düşey membranlar arasında olan su sıkışmayacağından yükselme eğilimi gösterdiği,

kabullerini yaparak pratik bir deprem hesabı önermektedir.

Bu yöntemle aşağıda sunulan bağıntılar yardımıyla impuls ve salınım kütlelerinin toplam sıvı kütlelerine olan oranları, salınım kütleleri frekansı ile bu kütlelerin etkime yükseklikleri ve bunlara bağlı hesaplanan hidrodinamik basınçlar, taban kesme ve taban eğilme momentleri belirlenebilmektedir. Bunları belirleyebilmek için basitleştirilmiş bir yaklaşım ortaya konmuştur. Bu mekanik modelde m_1 için impuls kütlelerine ilave olarak boş depo kütlelerinin ve ayak kütlelerinin belirli bir kısmı dikkate alınmaktadır. Dikkate alınacak ayak kütleleri

için ACI (American Concrete Institute) 371R-98'de (1998) ayak kütesinin %66'sının dikkate alınması önerilmektedir. Priestley ve arkadaşları, (1986) ayak kütesinin tamamının dikkate alınmasını önermektedir. Modeldeki m_c kütesi ise salınım kütesinden oluşmaktadır (Şekil 3.13). Bu yöntem 1960'lardan bu güne kadar birçok uygulamada kullanılmış olup, Epstein (1976) tarafından bazı katkılar yapılarak tekrar düzenlenmiştir. Bu çalışma kapsamında da Housner (1981) yönteminin Epstein (1976) tarafından düzenlenmiş hali kullanılmaktadır.

Housner yaklaşımlarına ait bağıntılar aşağıda belirlenmektedir.

$$\omega^2 = \frac{g}{r} 1.84 \tanh \left(1.84 \frac{h}{r} \right) \quad (3.6)$$

$$k_c = m_c \frac{g}{R} 1.84 \tanh \frac{1.84 \cdot h}{R} \quad (3.7)$$

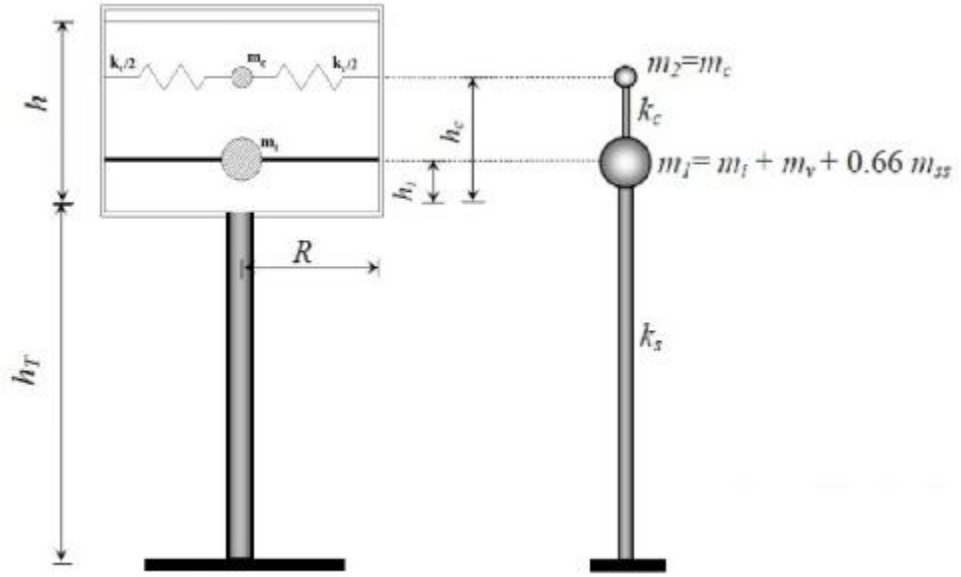
$$m_c = m_w \cdot 0.318 \frac{R}{h} \tanh (1.84 h/R) \quad (3.8)$$

$$m_i = m_w \frac{\tanh (1.74 R/h)}{(1.74 R/h)} \quad (3.9)$$

$$h_c = \left[1 - \frac{\cosh(1.84 h/R) - 1}{1.84 h/R \sinh (1.84 h/R)} \right] h \quad (3.10)$$

$$h_i = \frac{3}{8} h \quad (3.11)$$

Denklemlerde ω^2 salınım frekansını, k_c salınım kütesi rijitliğini, m_c salınım kütesini, m_i impuls kütesini, h_c salınım kütesi yüksekliğini, h_i ise impuls kütesi yüksekliğini göstermektedir. (Epstein, 1976)



Şekil 3.13. Ayaklı depo-sıvı sistemine ait eşdeğer mekanik modelle, iki kütleli model yaklaşımı, (m_v boş depo kütlesi, m_{SS} taşıyıcı sistem ağırlığı, k_S taşıyıcı sistem yatay rijitliği, k_c salınım kütesine ait rijitlik), (a.Ayaklı depo-sıvı sistemine ait mekanik model- b.Eşdeğer iki kütleli model)

Bu tez çalışmasında su deposunun modellenmesinde kütle-yay modeli benimsenmiş olup salınım bölgesi için tek bir kütle kullanılmaktadır. Şekil 3.14’de bu tez kapsamında kullanılan yöntem görülmektedir.



Şekil 3.14. Suyu modellemek için kullanılan yöntem

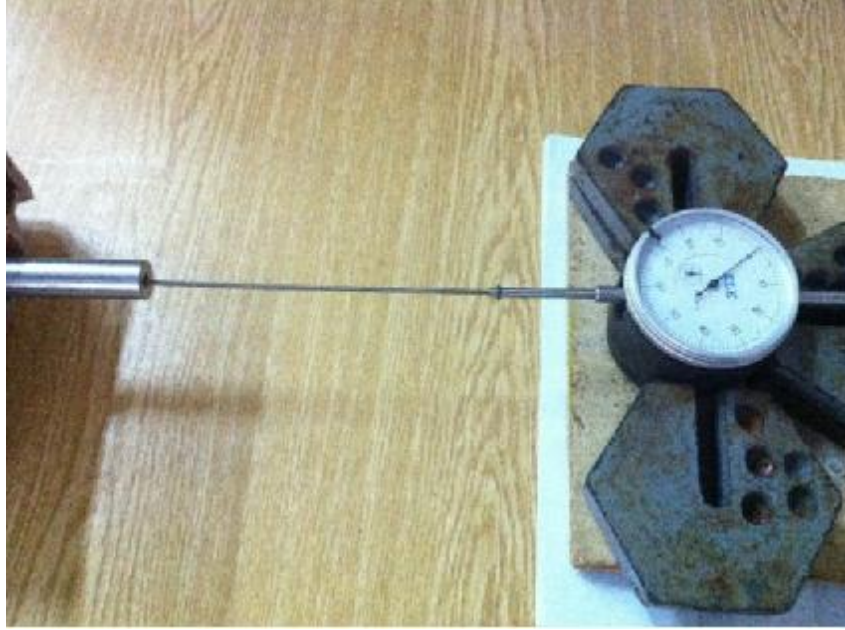
3.7. Deneysel Çalışmada Kullanılan LDVT'lerin Kalibrasyonu ve Su Deposunun Üretimi

3.7.1. Giriş

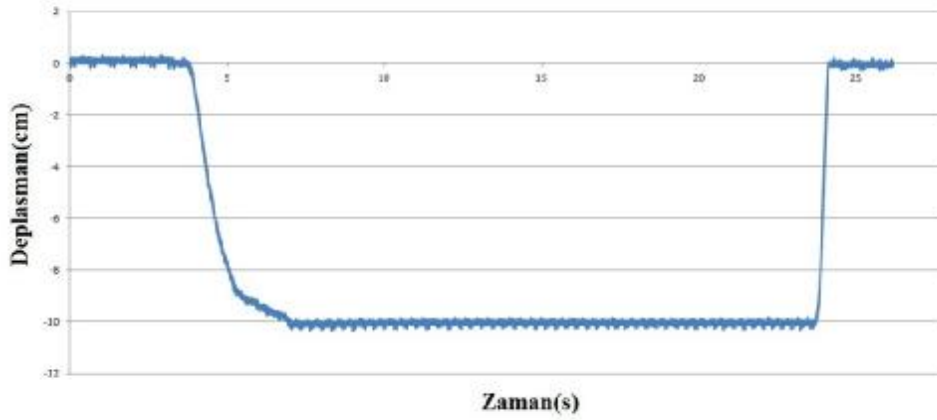
Bu bölümde, İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarındaki sarsma tablası üzerinde gerçekleştirilen deneylerde kullanılan ölçme sistemindeki LVDT'lerin kalibrasyonu ve su deposunun üretimi hakkında bilgiler verilmektedir.

3.7.2. LVDT'lerin Kalibrasyonu

Deneysel çalışmada kullanılan LVDT'ler 15 cm strokludur. Elektriksel olarak topladığı verileri bilgisayara aktarma işlemini National Instruments 9215A tipi bir veri kaydedici yapmaktadır. LVDT'nin çalışma voltaj aralığı 0~6 Volt'tur. Veri kayıt cihazına ait yazılım kendi içinde kalibrasyon verilerini işleyerek, deplasman verilerini kullanıcıya doğrudan tablo veya grafik olarak vermektedir. Cihazın kalibrasyonu için Şekil 3.15'de görülen komparatör kullanılmıştır. Komparatör sayesinde bir deplasman değeri LVDT'ye uygulanıp, yazılım yardımıyla elde edilen deplasman grafiği ile karşılaştırılmıştır. Programdan alınan grafikteki deplasman değerleri ile uygulanan deplasman değerleri arasında çok iyi bir uyum vardır. Yazılım yardımıyla elde edilen deplasman grafiği Şekil 3.16'da verilmektedir.



Şekil 3.15. Komparatör cihazı kullanılarak LVDT lerin kalibrasyonu



Şekil 3.16. LVDT ye 10mm lik bir deplasman verildiğinde elde edilen grafik

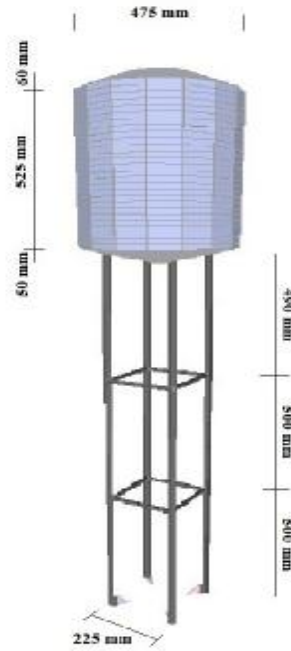
3.7.3. Deney Düzeneği ve Yapı Modeli

Deneysel çalışma için 2.10 metre yüksekliğinde, paslanmaz çelikten bir su deposu üretilmiştir. Hazırlanan model sarsma tablası üzerinde test edilmiştir.

3.7.3.1. Su Deposu

Ayaklı çelik bir su deposunun, dinamik davranışını inceleyebilmek amacıyla, gerçek bir su deposu projesi esas alınarak ve büyük ölçüde benzerlik/ölçekleme yasalarına uyularak bir model üretilmiştir. Su deposu modeli, ölçeklenmiş boyutlarda bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Şekil 3.17'de SAP2000 programı yardımıyla modellenen su deposu ve boyutları görülmektedir. Su deposu modelinin dinamik davranış özellikleri, yine aynı program kullanılarak belirlenmiştir. Şekil 3.17'deki depo boyutları, su deposunun dinamik özelliklerinin sarsma tablasının sınırları içinde kalması için deneme-yanılma yöntemi sonucunda belirlenen nihai boyutlardır.

Su deposu üretiminde kalınlığı 1.5 mm olan paslanmaz çelik saclar kullanılmıştır. Su deposunu taşıyan ayaklar 1mm kalınlığında, dış çapı 25mm olan paslanmaz çelik boru, kirişler ise 1mm kalınlığında, dış çapı 16mm olan paslanmaz çelik boru kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 3.17. Ayaklı su deposu modeli ve boyutları

Su deposunun ayak ve depo kısımları argon kaynak kullanılarak birbirine kaynaklanmıştır. Bunun nedeni, su deposu kalınlığının çok az olmasıdır. Bağlantılarda 40×40 mm boyutlarında, 3.5 mm kalınlığında paslanmaz çelik

yastıklar kullanılmıştır. Yastıkların depoya kaynaklanmasının görünümü Şekil 3.18’de verilmektedir. Su deposunun altındaki levhayla birlikte toplam ağırlığı 36 kg olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.18. Yastıkların depoya kaynaklanmasının görünümü

Su deposunun ayaklarının alt noktasındaki bağlantıda 8 mm kalınlıklı paslanmaz çelik levhalar kullanılarak sarsma tablası üzerine bağlanmıştır. Modelin ayaklarının ankastre çalışmasını sağlayabilmek için yardımcı bağlantılar kullanılarak ayakların levhayla bağlantısında üçgen şeklinde, 50×60 mm boyutlarında ve 4 mm kalınlığında krom cinsinden saclar kullanılmıştır. Şekil 3.19’da ayak mesnet noktalarına ait detay ve model-tabla bağlantısı görülmektedir. Su deposu üzerinde yapılan deneylerde deplasman ölçüm noktaları ise Şekil 3.20’de görüldüğü gibidir. Yukarıda anlatılan işlemlere göre üretilen su deposunun deneye hazır hali Şekil 3.21’de görülmektedir.



Şekil 3.19. Ayak mesnet noktalarına ait detay ve model-tabla bağlantısı



Şekil 3.20. Su deposundaki ayak ve deponun deplasman ölçüm noktaları

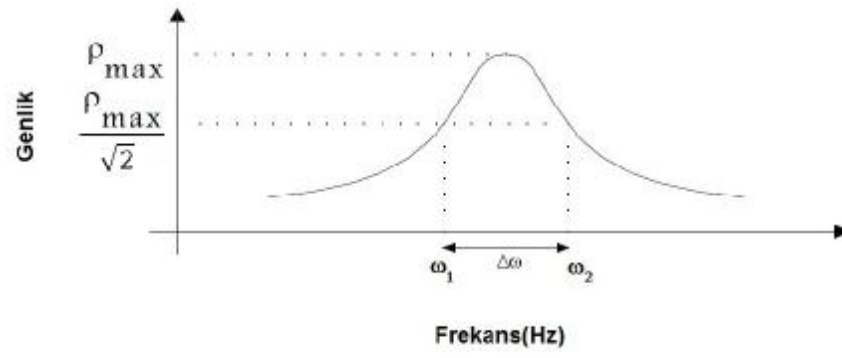


Şekil 3.21. Su deposunun deneye hazır hali

3.8. Model Yapıya Ait Sönüm Oranının Belirlenmesi

Su deposu modelinin sönüm oranını belirlemek için kullanılan yaygın metotlardan birisi yarım-güç bant genişliği (Half Power-Band Width) metodudur (Moghaddam, 1995). Sönümlü sistemler için frekans değeri serbest titreşim kısmı için belirlendikten sonra Şekil 3.22’de görüldüğü gibi frekans eğrisinde maksimum genlik değeri $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ile çarpılarak ikinci bir genlik değeri tespit edilmekte, ikinci genlik değerinden çizilen yatay eksenin spektrum grafiğini kestiği noktaların frekans değerleri kullanılarak aşağıda verilen bağıntı yardımıyla sönüm oranı belirlenmektedir.

$$\xi = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_2 + \omega_1} \quad (3.12)$$



Şekil 3.22. Yarım güç bant genişliği yöntemi

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Giriş

Bu bölümde sarsma tablası kullanılarak Şekil 3.21’de görülen model yapının sismik davranışı ile ilgili yapılan deneyler ve sayısal çalışmalar sunulmaktadır. Su deposu üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile teorik çalışma sonuçları kıyaslamalı olarak sunulmuştur.

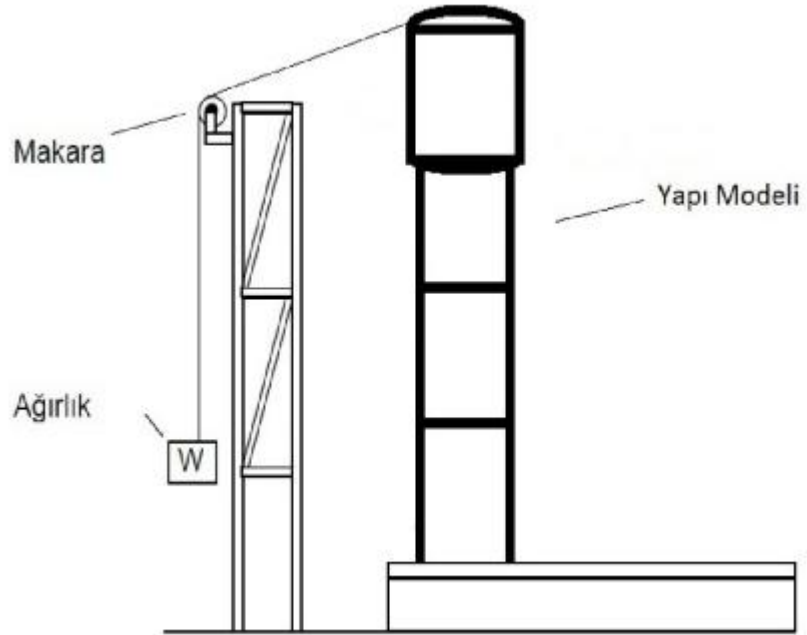
4.2. Model Yapıya Ait Çeşitli Parametrelerin Belirlenmesi

4.2.1. Model Yapı İçin Efektif Elastisite Modülünün Belirlenmesi

Model yapı malzemesinin ısı işlem görmesi ve malzemenin standartları sağlamama ihtimaline karşı model yapı için efektif bir elastisite modülü bulunmuş ve teorik analizlerde bu değerler kullanılmıştır. Efektif elastisite modülünün belirlenebilmesi için yapıya statik bir yükleme yapılmış ve yüke bağlı deponun tepe noktası yatay deplasmanları kaydedilmiştir. Statik deney için hazırlanan deney düzeneği Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de sunulmaktadır.

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK



Şekil 4.1. Statik deney yükleme düzeneği



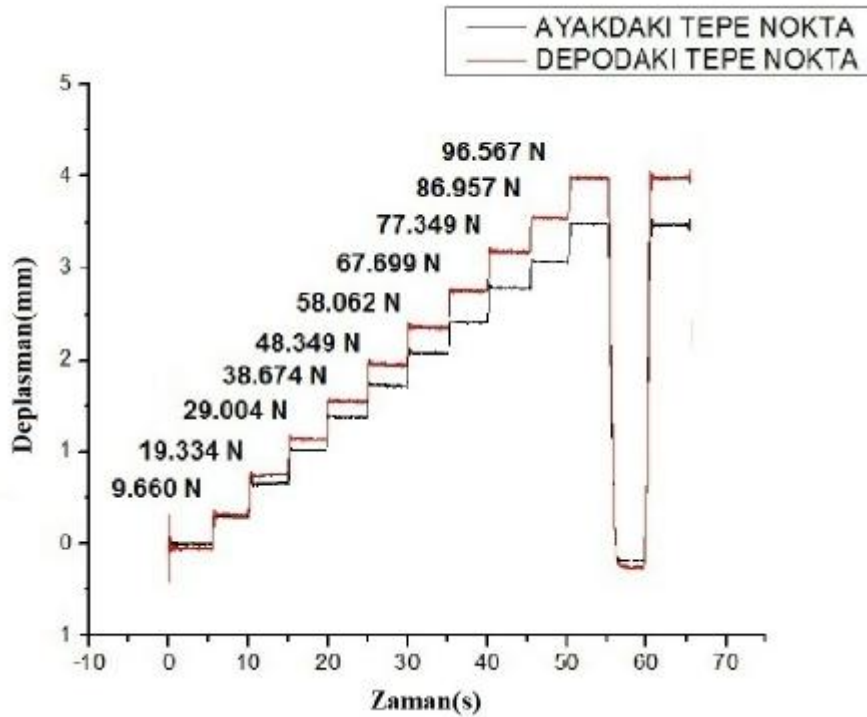
Şekil 4.2. Statik deneyde su deposunun ve kullanılan yüklerin görünümü

Deneyde, yaklaşık 1 dakikalık süre içinde, 96.567 N değerine kadar yaklaşık 9.81 N'luk artımlarla model yatay yönde yüklenmiş, sonra boşaltılmış ve tekrar

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK

96.567 N'luk yük bir seferde yüklenmiştir. Ayak ve depo tepe noktalarında LVDT yardımıyla ölçülen deplasmanların grafik görünümü Şekil 4.3'te verilmektedir. Statik deneyden elde edilen deplasmanlar temel alınıp SAP2000 programında elastisite modülü değiştirilerek iteratif bir çalışma yapılmış ve efektif elastisite modülü değeri 1.658×10^8 kN/m² olarak belirlenmiştir. Bu değer çelik için verilen standart elastisite modülü değeri olan 2.059×10^8 kN/m² değerinin %80.5'ine eşittir.

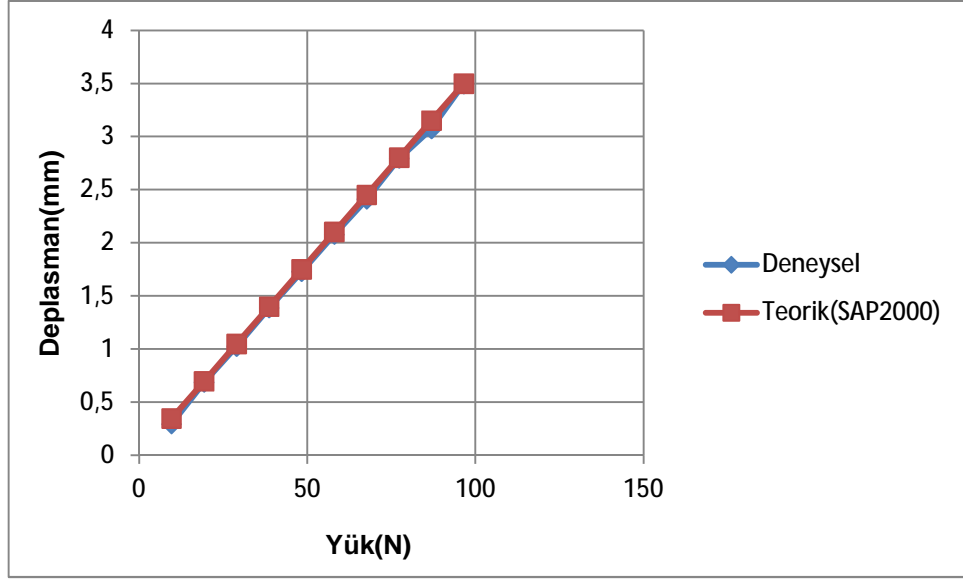


Şekil 4.3. Statik yükleme altında depo ve ayak tepe noktasında ölçülen deplasmanın grafik görünümü

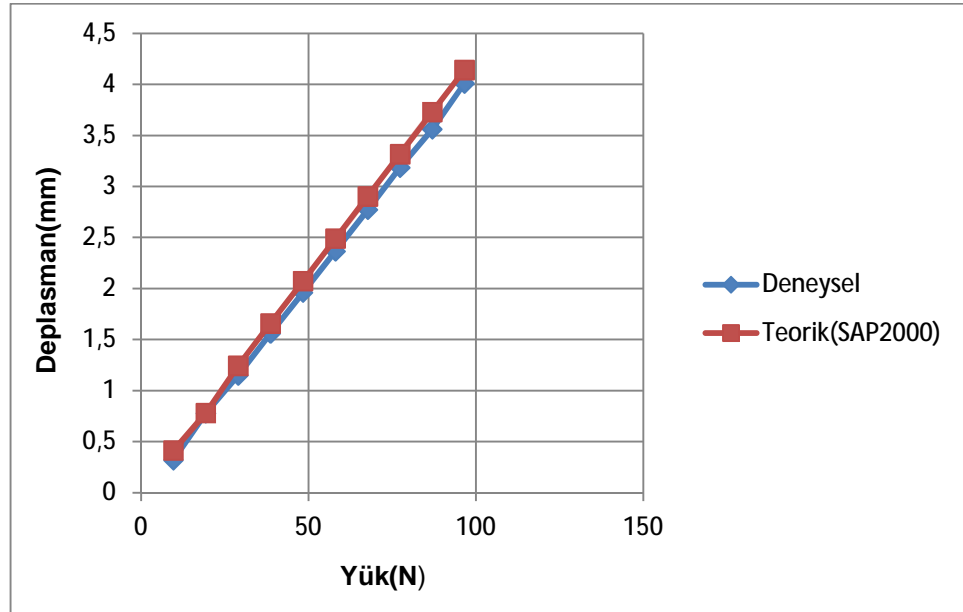
Efektif elastisite modülü kullanılarak sayısal programdan elde edilen deplasmanların, deneysel olarak elde edilen deplasmanlar ile karşılaştırılmaları ayağın tepe noktası için Şekil 4.4'te ve deponun tepe noktası için Şekil 4.5'te verilmiştir. Grafikler statik yükleme deney sonuçlarından belirlenen efektif elastisite modülü değerinin uygun olduğunu göstermektedir.

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK



Şekil 4.4. Statik yükleme altında ayağın tepe noktasında ölçülen ve hesaplanan yatay deplasman değerleri



Şekil 4.5. Statik yükleme altında deponun tepe noktasında ölçülen ve hesaplanan yatay deplasman değerleri

4.2.2. Model Yapının Serbest Titreşim Frekanslarının Belirlenmesi

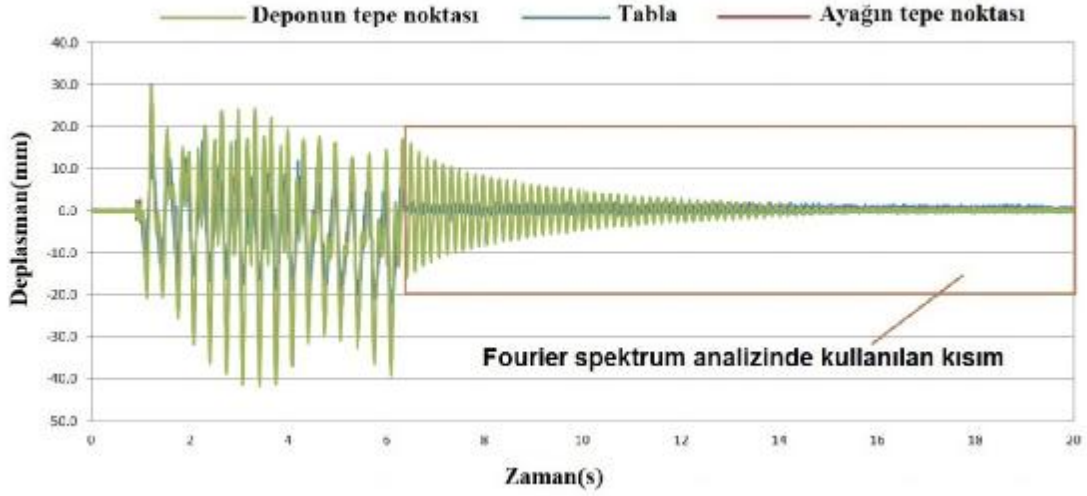
Elastisite modülü statik deneylerle belirlendikten sonra su deposu modelinin serbest titreşim frekansları belirlenmiştir. Bunun için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Birinci yöntem su deposuna herhangi bir titreşim hareketi uygulandığında ölçülen deplasman veya ivme verilerinin Fourier spektrum analizinde oluşan en büyük genlik değerlerinin frekanslarının belirlenmesidir. Bu pik değerlerin oluştuğu frekanslar yapının doğal titreşim frekanslarıdır. İkinci yöntem ise SAP2000 programını kullanarak su deposu modellendikten sonra analizlerden elde edilmiş frekanslardır.

4.2.2.1. Fourier Spektrum Yöntemi

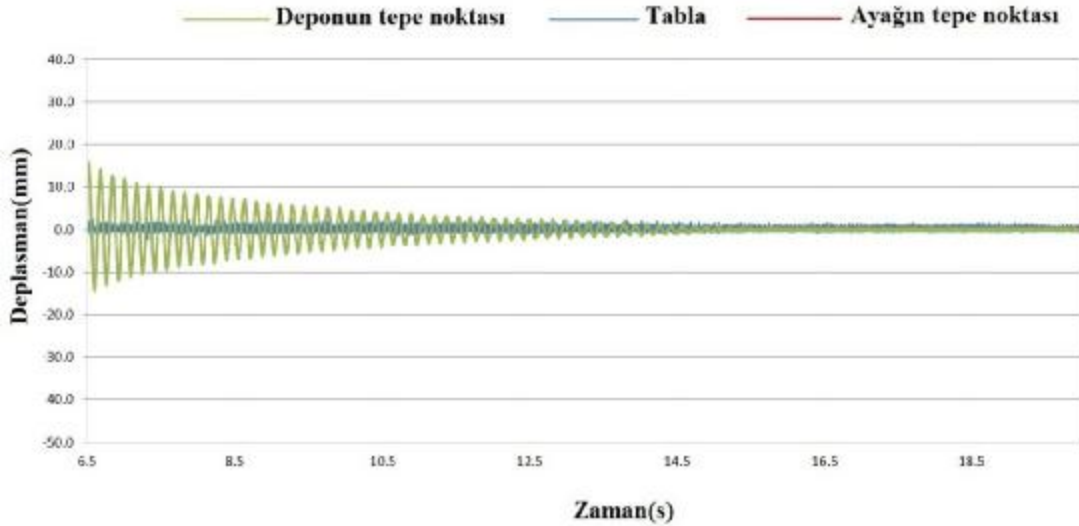
Fourier spektrum analizleriyle frekansları belirlemek için, su deposu modeli tabandan uygulanan ivme kaydı veya şok yükleme ile titreşime zorlanmakta, zorlanmış titreşim bittikten sonra yapının serbest titreşime geçtiği andan sonraki deponun ya da ayağın tepe nokta yatay deplasman kayıtlarından herhangi biri alınarak Fourier spektrum analizi gerçekleştirilmektedir. Spektrum grafiğinde oluşan pikler doğal titreşim frekansları olarak belirlenmektedir. Bu uygulamada örnek olarak 3 Hz frekanslı sinüzoidal ivme kaydı model yapıya titreşim vermek amacı ile kullanılmıştır. Deneyden elde edilen ayak ve depo tepe noktalarına ait işlenmemiş yatay deplasmanların grafiği Şekil 4.6'da ve Fourier spektrum analizinde kullanılan kısım şekil 4.7'de sunulmuştur.

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK

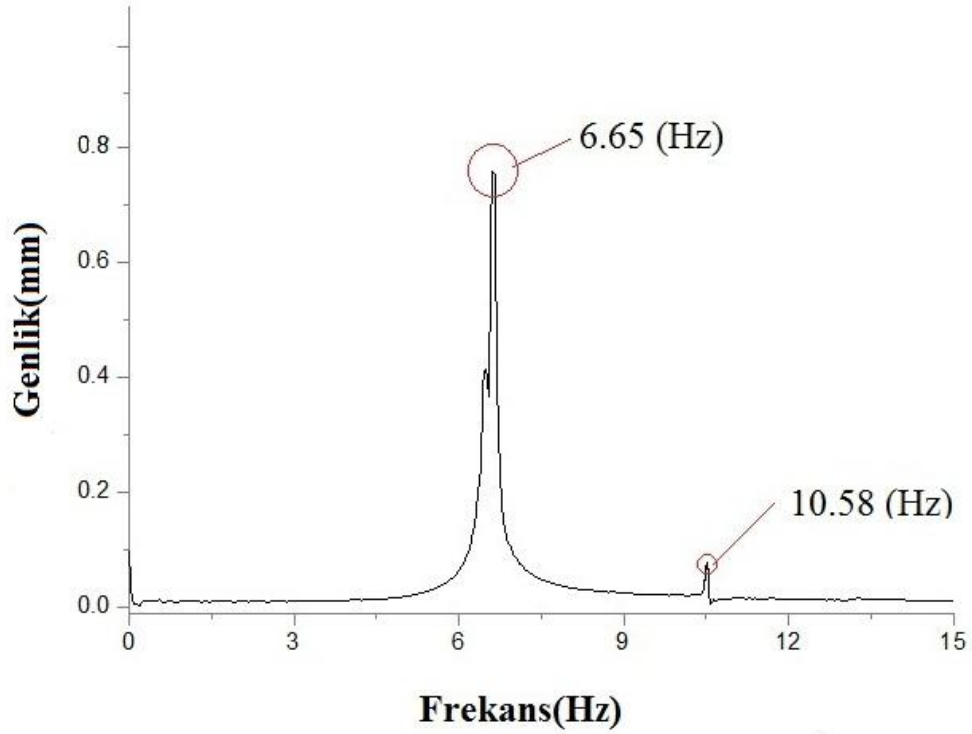


Şekil 4.6. 3 Hz frekanslı ivme kaydının uygulanması sonucu model yapıdan ölçülen yatay deplasmanlar ve tabla yatay deplasmanı



Şekil 4.7. 3 Hz frekanslı ivme kaydının uygulanması sonrası model yapıda oluşan serbest titreşim hareketi

Analiz için deponun tepe noktasına ait yatay deplasmanların serbest titreşim kısmı seçilmiştir. Analize ait Fourier spektrum grafiği Şekil 4.8'de verilmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi yapının 1. doğal titreşim frekansı 6.65 Hz ve 2. doğal titreşim frekansı ise 10.58 Hz olarak tespit edilmiştir. Model yapının yukarıda bahsedilen yöntemler ile ve SAP2000 yazılımında tespit edilmiş serbest titreşim frekansları Çizelge 4.1'de karşılaştırılmaktadır. Çizelgeden görüleceği gibi belirlenen serbest titreşim frekansları birbirine yakın değerlerdedir.



Şekil 4.8. Depo tepe nokta deplasmanının serbest titreşim kısmının Fourier spektrum grafiği

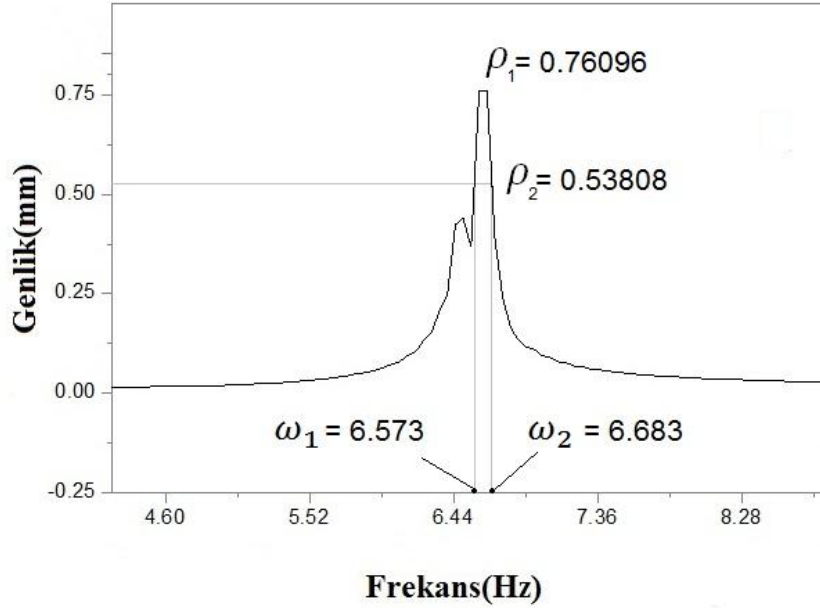
Çizelge 4.1. Çeşitli yöntemler ile elde edilen model yapı serbest titreşim frekansları

Serbest Titreşim Frekansları	Fourier Spektrum Analizi	SAP2000
1. Frekans (Hz)	6.65	6.65
2. Frekans (Hz)	10.58	9.68

4.2.3. Model Yapıya Ait Sönüm Oranının Belirlenmesi

Model yapının serbest titreşim frekanslarının belirlenmesinden sonra su deposu modelinin sönüm oranı belirlenmiştir. Sönüm oranını belirlemek için Bölüm 3.7’de verilen Yarım-Güç Bant Genişliği metodu kullanılarak sönüm oranı elde edilmiştir.

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi ve 3.12 bağıntısı yardımıyla $\xi = 0.008$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.9. Yarım güç bant genişliği yöntemi

4.3. Model Yapının Deprem Davranışının Belirlenmesi

Serbest titreşim frekanslarının belirlenmesi tamamlandıktan sonra yapının deprem davranışı El Centro Depremi (1940), Adana Depremi (1998) ve Düzce Depremi (1999) kayıtları kullanılarak su deposu boşken, $(\frac{1}{3})$ suyla doluyken ve $(\frac{1}{2})$ suyla doluyken, deneysel ve teorik olarak belirlenmiştir.

4.3.1. Su Deposu Boşken Model Yapının Deprem Davranışı

4.3.1.1. El Centro Depremi Etkisinde Model Yapı Davranışı

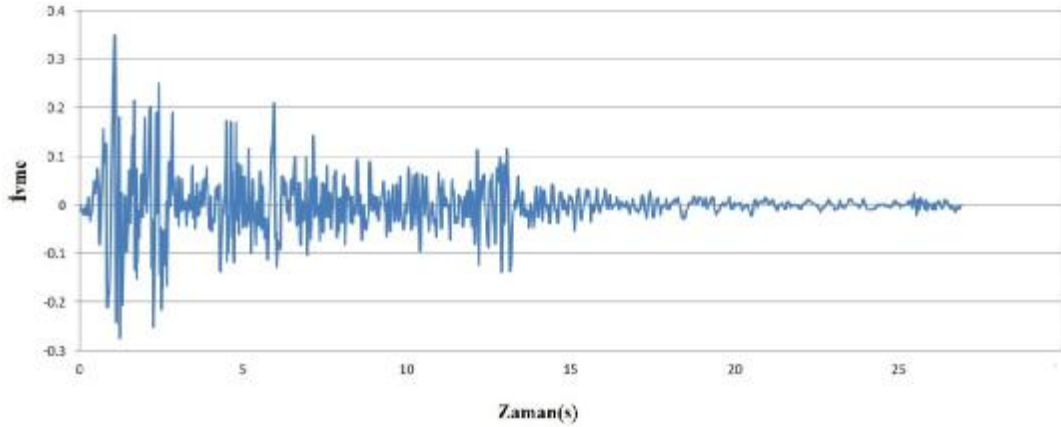
El Centro depremi ivme kayıtları bu uygulama için $\lambda = \frac{1}{4}$ katsayısıyla ölçeklenmiştir. Şekil 4.10'da $\lambda = \frac{1}{4}$ katsayı ile ölçeklenmiş olan El Centro Depremi ivme kaydı verilmiştir. Bu durumda ivme genlikleri değişmeksizin kayıt süresi 53.75 saniye olan gerçek deprem kaydı, 26.87 saniyelik bir kayda dönüşmüştür. El Centro depremine ait ivme kaydının su deposu boşken uygulanması sonucu elde edilen

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK

depo ve ayağın tepe noktası ile tablanın yatay deplasmanları işlenmemiş halde Şekil 4.11'de verilmektedir. Şekil 4.11'deki depo ve ayağın tepe noktasına ait yatay deplasman kayıtları ile tabla deplasmanın farkı alınarak depo ve ayağın tepe noktası rölatif yatay deplasmanları bulunmuştur. Elde edilen değerlerde gürültü olduğu için Hızlı Fourier Dönüşümü kullanılarak filtreme işlemi gerçekleştirilmiş, bu işlemde Alçak Geçiren (Low Pass) filtre kullanılmış, Frekansı 10 Hz'den büyük olan hareketler gürültü olarak ayıklanmıştır. Şekil 4.12'de depo ve ayağın tepe noktası rölatif yatay deplasmanları filtre edilmiş halde görülmektedir.

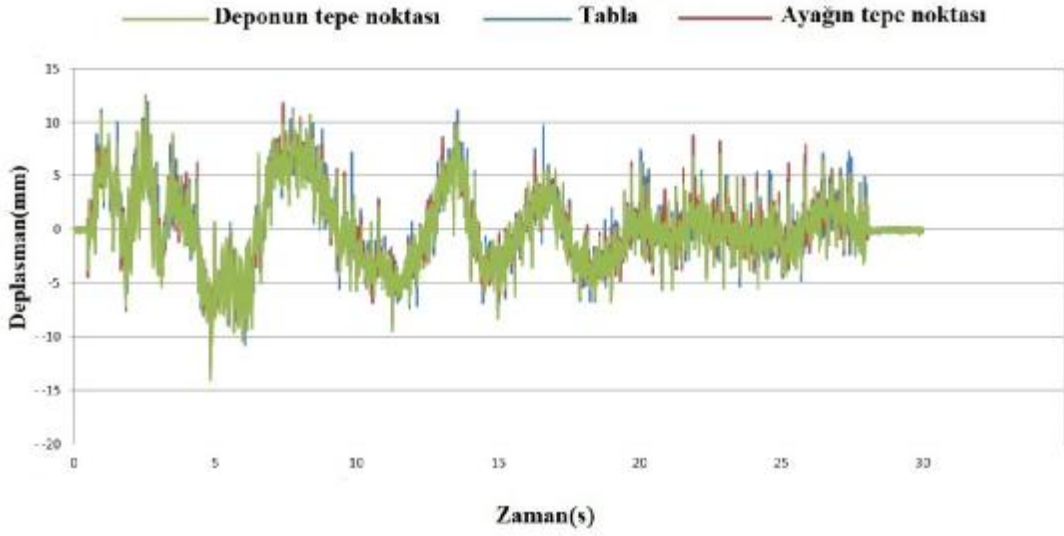
SAP2000 yazılımı kullanılarak aynı deprem kaydı etkisinde model yapının analizleri gerçekleştirilmiştir. SAP2000 analizlerinde modal sönüm oranı olarak öncelikle 4.2.3'de Yarım-Güç Bant Genişliği yöntemi kullanılarak belirlenmiş olan 0.008 değeri kullanılmış ancak sonuçların çok uyumlu olmadığı görülmüştür. Bunun üzerine yapılan iteratif çalışma sonucunda sönüm oranı olarak 0.05 değerinin kullanılmasının uygun olduğu anlaşılmıştır. Deponun tepe noktası için SAP2000 programı kullanılarak ve deneysel olarak elde edilen rölatif yatay deplasman değerleri Şekil 4.13'de karşılaştırılmaktadır. Şekil 4.13'den görüldüğü gibi deneysel ve teorik sonuçlar arasında genel bir uyum vardır.



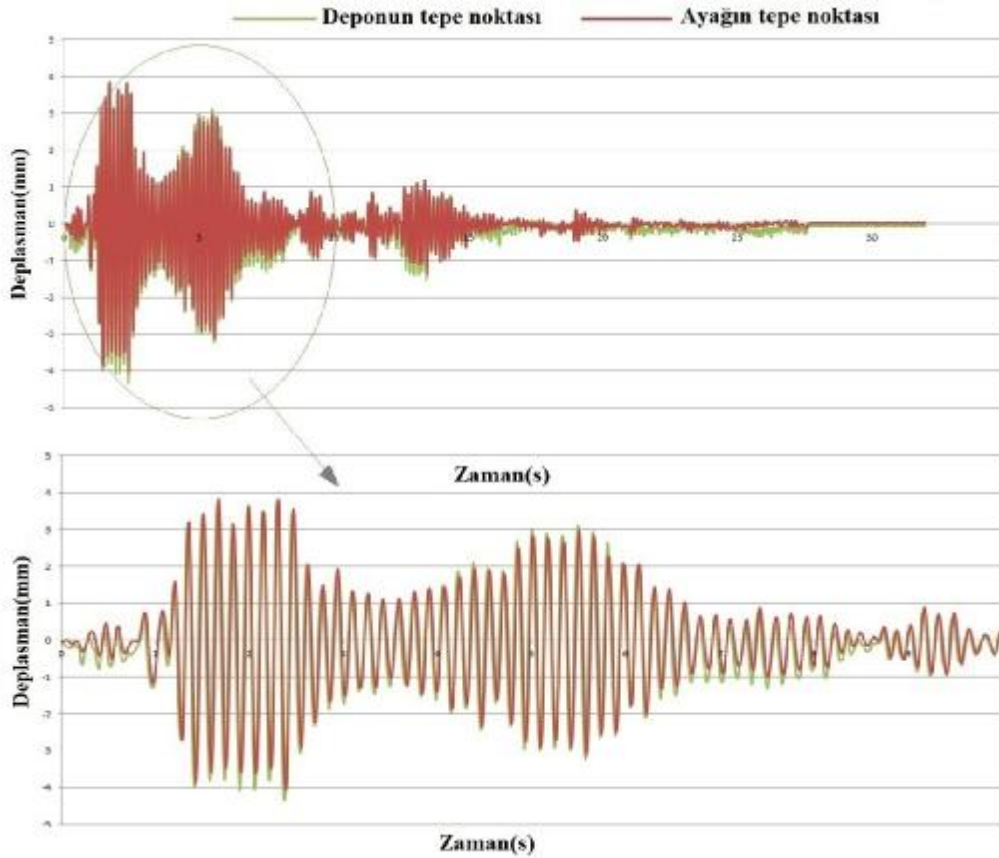
Şekil 4.10. $\lambda = \frac{1}{4}$ oranıyla ölçeklenmiş El Centro depremi ivme kaydı

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

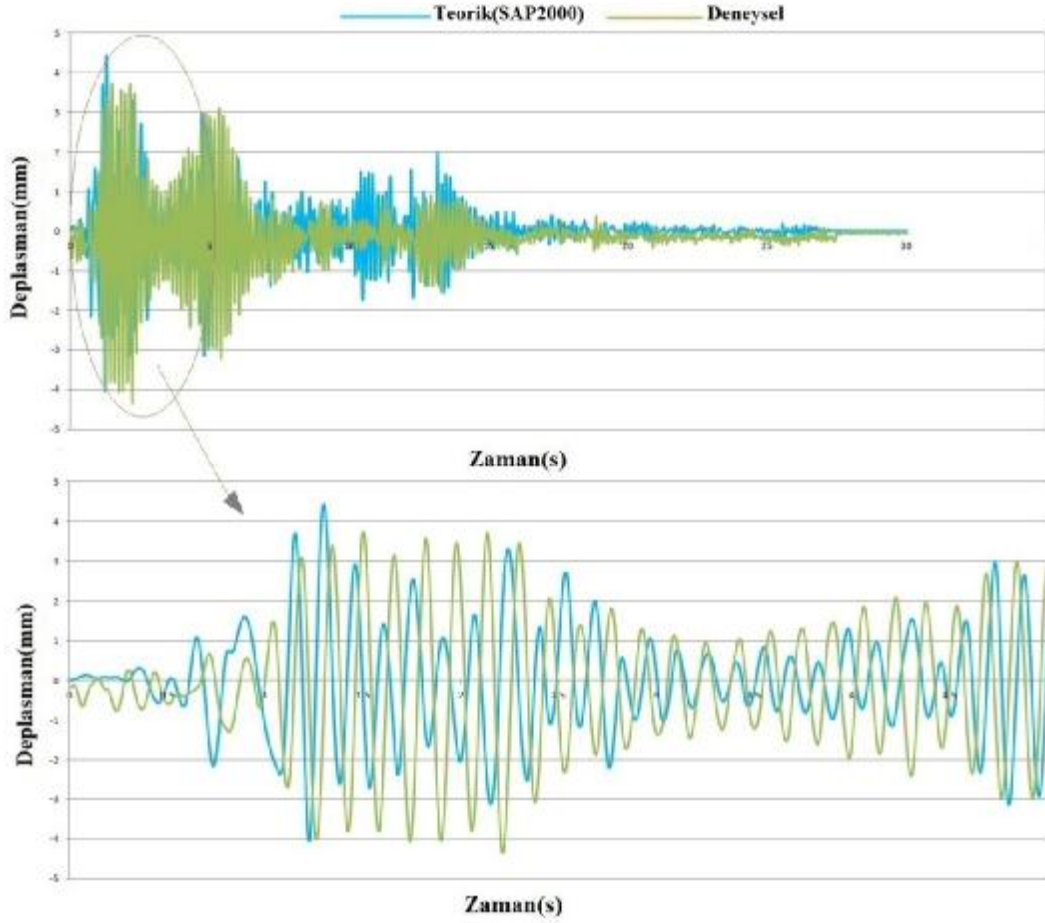
Ehsan CHAVOSH HAKKAK



Şekil 4.11. Ölçeklenmiş El Centro (1940) Depremi kayıtlarının uygulanması sonucu elde edilen depo ve ayağın tepe noktaları ile tabla yatay deplasmanları (su deposu boşken)



Şekil 4.12. Ölçeklenmiş El Centro Depremi (1940) ivme kaydı için deneysel olarak belirlenen depo ve ayağın tepe noktası rölatif yatay deplasmanları (su deposu boşken)



Şekil 4.13. Ölçeklenmiş El Centro Depremi (1940) kaydı için deneysel ve teorik olarak elde edilen depo tepe noktası rölatif yatay deplasmanın zamanla değişiminin kıyaslanması (su deposu boşken)

4.3.1.2. Adana Depremi Etkisinde Model Yapı Davranışı

Adana depremi ivme kayıtları bu uygulama için zaman değerleri değişmeksizin ivme değeri ($\frac{1}{3}$) oranında küçültülmüş. Şekil 4.14'de bu katsayı ile ölçeklenmiş olan Adana Depremi ivme kaydı verilmiştir.

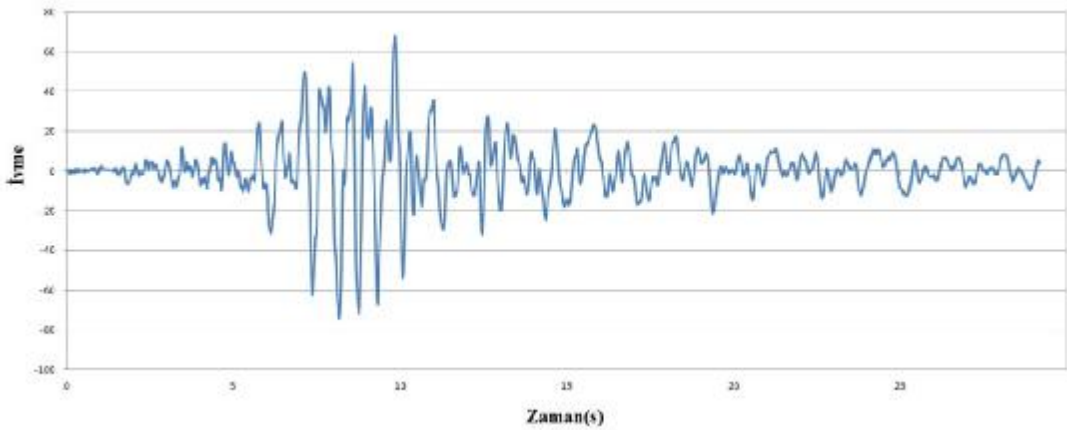
Adana depremine ait ivme kaydının su deposu boşken uygulanması sonucu elde edilen depo ve ayağın tepe noktası ile tablanın yatay deplasmanları işlenmemiş halde Şekil 4.15'de verilmektedir. Şekil 4.15'deki depo ve ayağın tepe noktasına ait yatay deplasman kayıtları ile tabla deplasmanın farkı alınarak depo ve ayağın tepe

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK

noktası rölâtif yatay deplasmanları bulunmuştur. Elde edilen değerlerde gürültü olduğu için Hızlı Fourier Dönüşümü kullanılarak filtreme işlemi gerçekleştirilmiş, bu işlemde Alçak Geçiren (Low Pass) filtre kullanılmış, Frekansı 10 Hz'den büyük olan hareketler gürültü olarak ayıklanmıştır. Şekil 4.16'da depo ve ayağın tepe noktası rölâtif yatay deplasmanları filtre edilmiş halde görülmektedir.

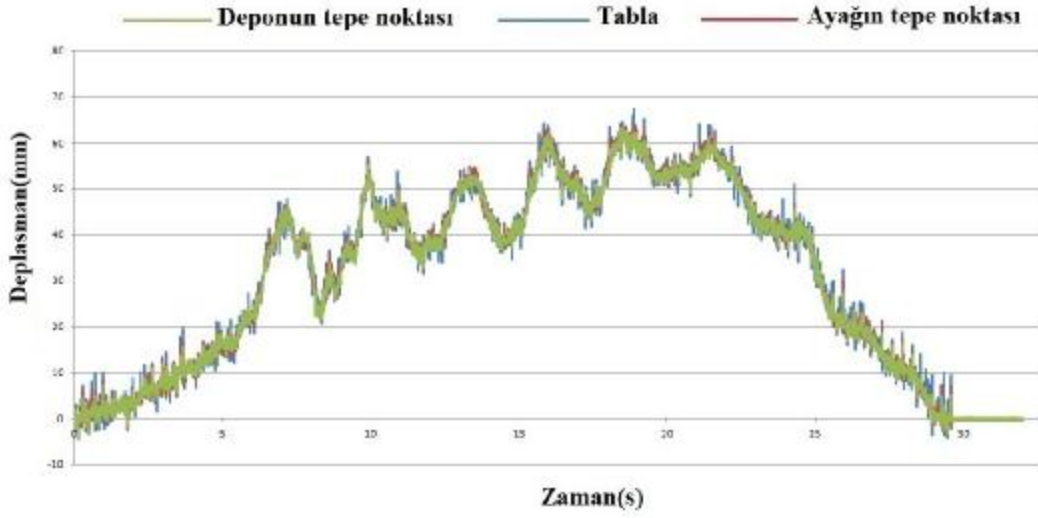
SAP2000 yazılımı kullanılarak aynı deprem kaydı etkisinde model yapının analizleri gerçekleştirilmiştir. SAP2000 analizlerinde modal sönüm oranı 4.3.1.1' de açıklandığı gibi 0.05 değeri kullanılmaktadır. Deponun tepe noktası için SAP2000 programı kullanılarak ve deneysel olarak elde edilen rölâtif yatay deplasman değerleri Şekil 4.17'de karşılaştırılmaktadır. Şekil 4.17'den görüldüğü gibi deneysel ve teorik sonuçlar arasında genel bir uyum gözlenmektedir.



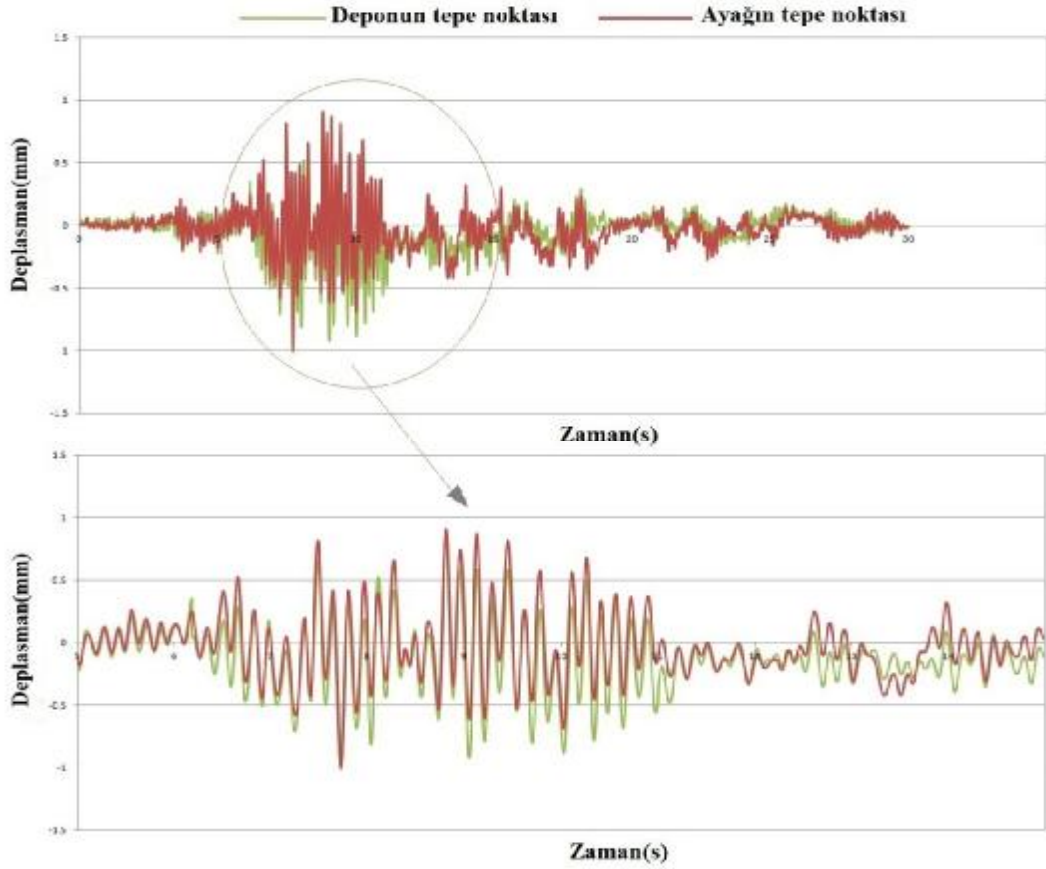
Şekil 4.14. ivme kaydı $\frac{1}{3}$ oranında küçültülmüş Adana depremi

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

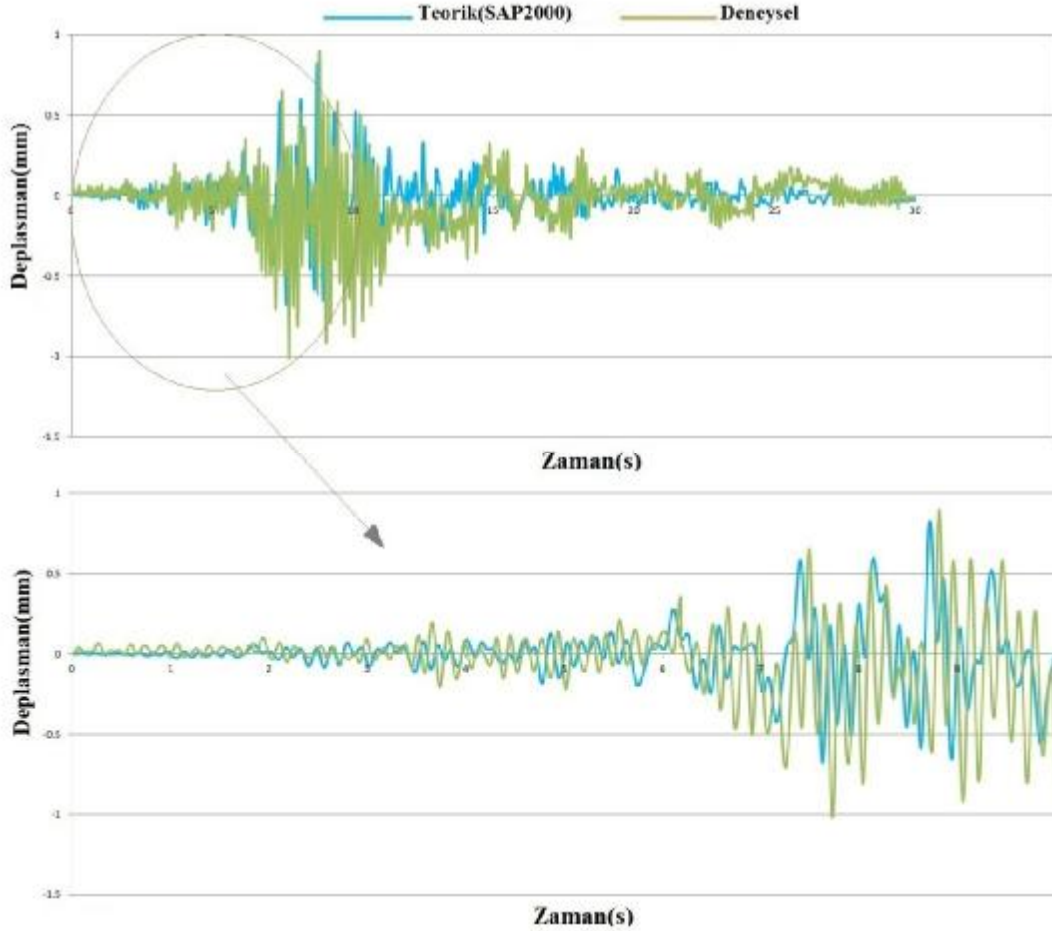
Ehsan CHAVOSH HAKKAK



Şekil 4.15. Ölçeklenmiş Adana Depremi (1998) kayıtlarının su deposu boşken uygulanması sonucu elde edilen yatay depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları ve tabla deplasmanları



Şekil 4.16. Ölçeklenmiş Adana Depremi (1998) ivme kaydı için deneysel olarak belirlenen rölatif depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları (su deposu boşken)



Şekil 4.17. Ölçeklenmiş Adana Depremi (1998) kaydı için depodaki tepe nokta rölatif yatay deplasmanın zamanla değişimi ve SAP2000 den alınmış deplasmanların kıyaslaması (su deposu boşken)

4.3.1.3. Düzce Depremi Etkisinde Model Yapı Davranışı

Düzce depremi ivme kayıtları bu uygulama için zaman değerleri değişmeksizin ivme değeri ($\frac{1}{2}$) oranında küçültülmüş. Şekil 4.18’de bu oranla küçültülmüş olan Düzce Depremi ivme kayıtları verilmiştir.

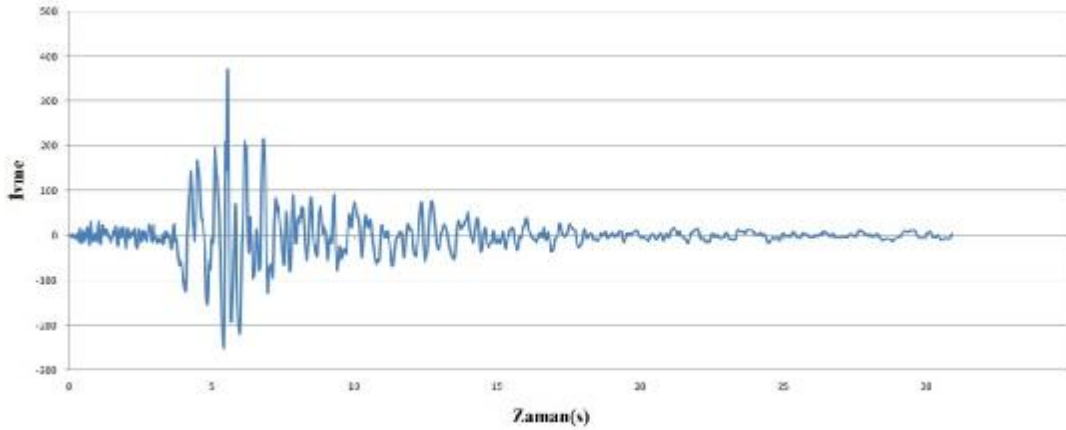
Düzce depremine ait ivme kaydının su deposu boşken uygulanması sonucu elde edilen depo ve ayağın tepe noktası ile tablanın yatay deplasmanları işlenmemiş halde Şekil 4.19’da verilmektedir. Şekil 4.19’daki depo ve ayağın tepe noktasına ait yatay deplasman kayıtları ile tabla deplasmanın farkı alınarak depo ve ayağın tepe

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK

noktası rölatif yatay deplasmanları bulunmuştur. Elde edilen değerlerde gürültü olduğu için Hızlı Fourier Dönüşümü kullanılarak filtreme işlemi gerçekleştirilmiş, bu işlemde Alçak Geçiren (Low Pass) filtre kullanılmış, Frekansı 10 Hz'den büyük olan hareketler gürültü olarak ayıklanmıştır. Şekil 4.20'de depo ve ayağın tepe noktası rölatif yatay deplasmanları filtre edilmiş halde görülmektedir.

SAP2000 yazılımı kullanılarak aynı deprem kaydı etkisinde model yapının analizleri gerçekleştirilmiştir. SAP2000 analizlerinde modal sönüm oranı 4.3.1.1' de açıklandığı gibi 0.05 değeri kullanılmaktadır. Deponun tepe noktası için SAP2000 programı kullanılarak ve deneysel olarak elde edilen rölatif yatay deplasman değerleri Şekil 4.21'de karşılaştırılmaktadır. Şekil 4.21'den görüldüğü gibi deneysel ve teorik sonuçlar arasında kabul edilebilir bir benzerlik vardır.



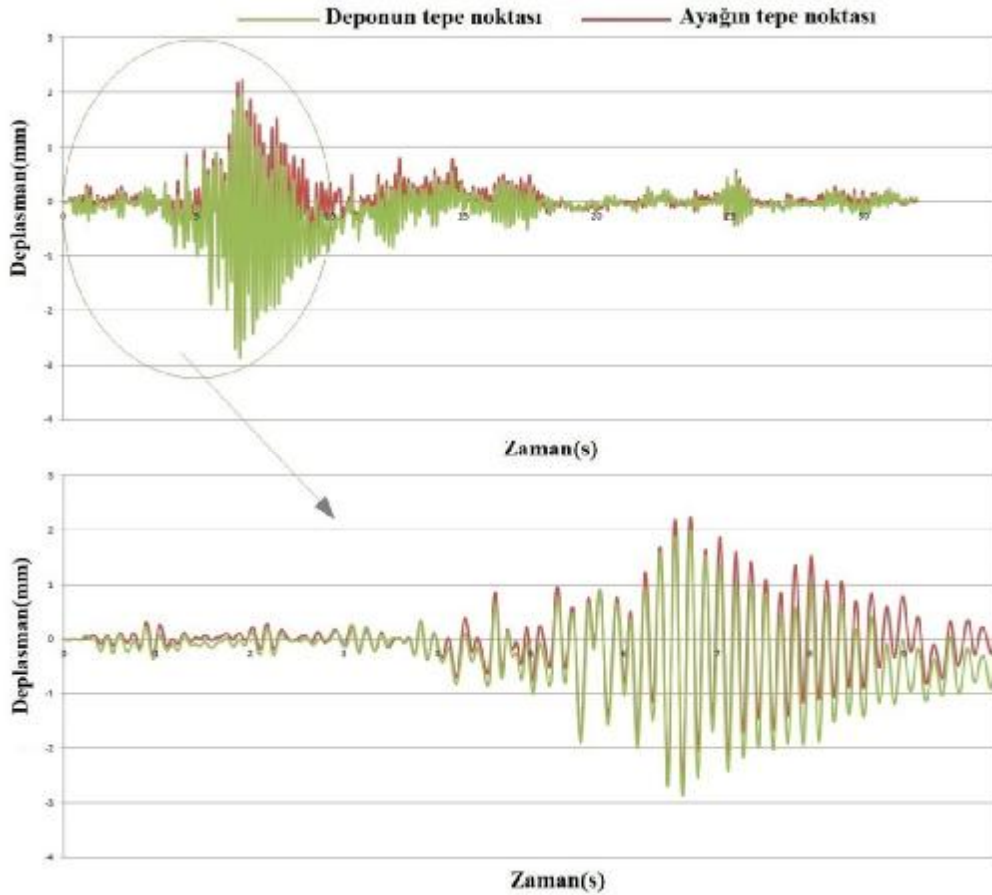
Şekil 4.18. İvme kaydı $\frac{1}{2}$ oranında küçültülmüş Düzce depremi

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

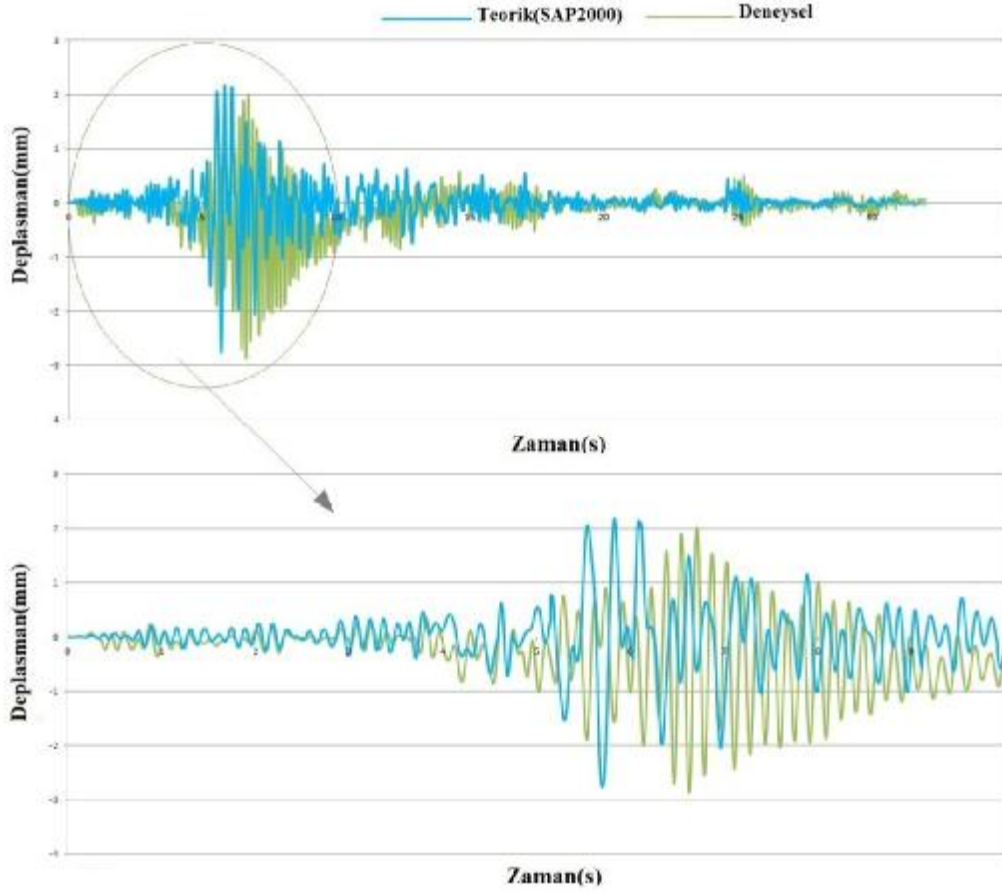
Ehsan CHAVOSH HAKKAK



Şekil 4.19. Ölçeklenmiş Düzce Depremi (1999) kayıtlarının su deposu boşken uygulanması sonucu elde edilen yatay depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları ve tabla deplasmanları



Şekil 4.20. Ölçeklenmiş Düzce Depremi (1999) ivme kaydı için deneysel olarak belirlenen rölatif depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları (su deposu boşken)



Şekil 4.21. Ölçeklenmiş Düzce Depremi (1999) kaydı için depodaki tepe nokta rölatif yatay deplasmanının zamanla değişimi ve sap 2000 den alınmış deplasmanların kıyaslaması (su deposu boşken)

4.3.2. Su Deposu ($\frac{1}{2}$) Suyla Doluyken Model Yapının Deprem Davranışı

Bu uygulamada, suyun yapı davranışına olan etkisini belirlemek amacıyla depo ($\frac{1}{2}$) oranında su ile doldurularak 4.3.1’de El Centro ve Düzce Depremi için yapılan çalışmalar tekrarlanmıştır.

4.3.2.1. El Centro Depremi Etkisinde Model Yapı Davranışı

El Centro depremine ait Şekil 4.10’da $\lambda = \frac{1}{4}$ katsayı ile ölçeklenmiş olan El Centro Depremi ivme kayıtları verilmiştir, ivme kaydının su deposu ($\frac{1}{2}$) suyla doluyken uygulanması sonucu elde edilen depo ve ayağın tepe noktası ile tablanın

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK

yatay deplasmanları işlenmemiş halde Şekil 4.22'de verilmektedir. Şekil 4.22'deki depo ve ayağın tepe noktasına ait yatay deplasman kayıtları ile tabla deplasmanın farkı alınarak depo ve ayağın tepe noktası rölatif yatay deplasmanları bulunmuştur. Elde edilen değerlerde gürültü olduğu için Hızlı Fourier Dönüşümü kullanılarak filtreme işlemi gerçekleştirilmiş, bu işlemde Alçak Geçiren filtre kullanılmış, Frekansı 10 Hz'den büyük olan hareketler gürültü olarak ayıklanmıştır. Şekil 4.23'de depo ve ayağın tepe noktası rölatif yatay deplasmanları filtre edilmiş halde görülmektedir.

SAP2000 yazılımı kullanılarak aynı deprem kaydı etkisinde model yapının analizleri gerçekleştirilmiştir. SAP2000 analizlerinde modal sönüm oranı 4.3.1.1' de açıklandığı gibi 0.05 değeri kullanılmaktadır. Programda model üzerinde yapılan analizler depodaki suyu modellemek için iki farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak Housner Yaklaşımını kullanarak suyu modellemek amacıyla Bölüm 3.6'da detayları verilen kütle-yay modeli - salınım bölgesi için tek bir kütle yaklaşımı ile- kullanılmıştır. İlgili kütle ve yay parametreleri (3.7)-(3.11) denklemleri kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

İmpuls kütlesi suyun doluluk oranı ($\frac{1}{2}$) iken, (3.9) denklemini kullanarak aşağıda görüldüğü gibi hesaplanmaktadır;

$$m_i = 46.516 * \frac{\tanh(1.74 * 237.5/262.5)}{(1.74 * 237.5/262.5)} = 27.11 \text{ kg}$$

Salınım kütlesi suyun doluluk oranı ($\frac{1}{2}$) iken, (3.8) denklemini kullanarak aşağıda görüldüğü gibi hesaplanmaktadır;

$$m_c = 46.516 * 0.318 \frac{237.5}{262.5} \tan h(1.84 * 262.5/237.5) = 12.933 \text{ kg}$$

İmpuls kütlesi yüksekliği suyun doluluk oranı ($\frac{1}{2}$) iken, (3.11) denklemini kullanarak aşağıda görüldüğü gibi hesaplanmaktadır;

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK

$$h_i = \frac{3}{8} * 262.5 = 98.44 \text{ mm}$$

Salınım kütlesi yüksekliği suyun doluluk oranı ($\frac{1}{2}$) iken, (3.10) denklemini kullanarak aşağıda görüldüğü gibi hesaplanmaktadır;

$$h_c = \left[1 - \frac{\cosh\left(1.84 * \frac{262.5}{237.5}\right) - 1}{1.84 * \frac{262.5}{237.5} * \sinh\left(1.84 * \frac{262.5}{237.5}\right)} \right] * 262.5$$
$$= 163.29 \text{ mm}$$

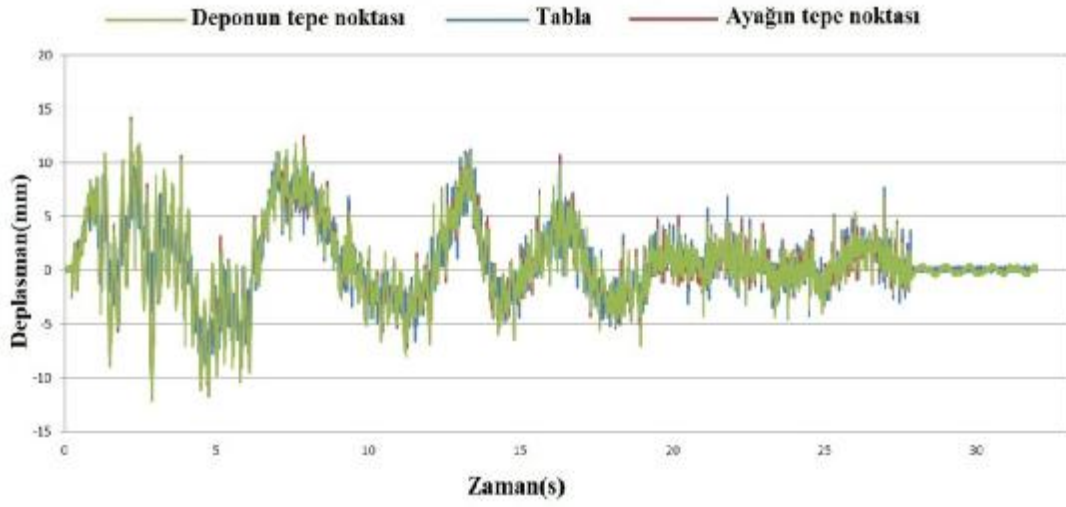
Salınım kütlesi rijitliği suyun doluluk oranı ($\frac{1}{2}$) iken, (3.10) denklemini kullanarak aşağıda görüldüğü gibi hesaplanmaktadır;

$$k_c = 129.33 * \frac{1}{237.5} * 1.84 * \tanh\left(\frac{1.84 * 262.5}{237.5}\right) = 0.9682 \text{ N/mm}$$

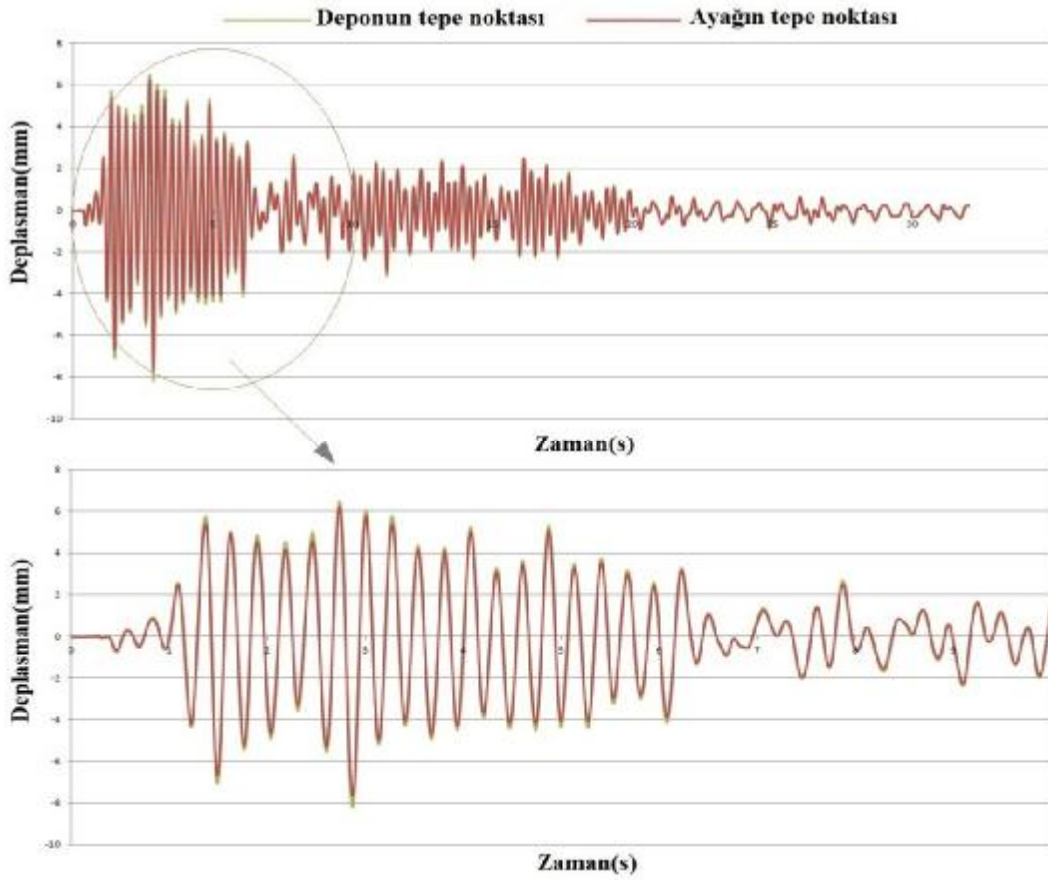
İkinci yöntemde ise modelin depo kısmındaki suyun katı gibi davrandığı kabul edilmiştir. Bu amaçla, deponun su ile dolu kısmının kütesine, rijitlikte herhangi bir değişiklik yapmaksızın su kütlesi ilave edilmiştir. Depo tepe noktası rölatif yatay deplasmanının deneysel olarak ve SAP2000 analizi sonucunda elde edilen değerleri Şekil 4.24'te karşılaştırılmaktadır. Şekil 4.24'ten görüldüğü gibi deneysel ve teorik sonuçlar arasında genel bir uyum vardır.

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

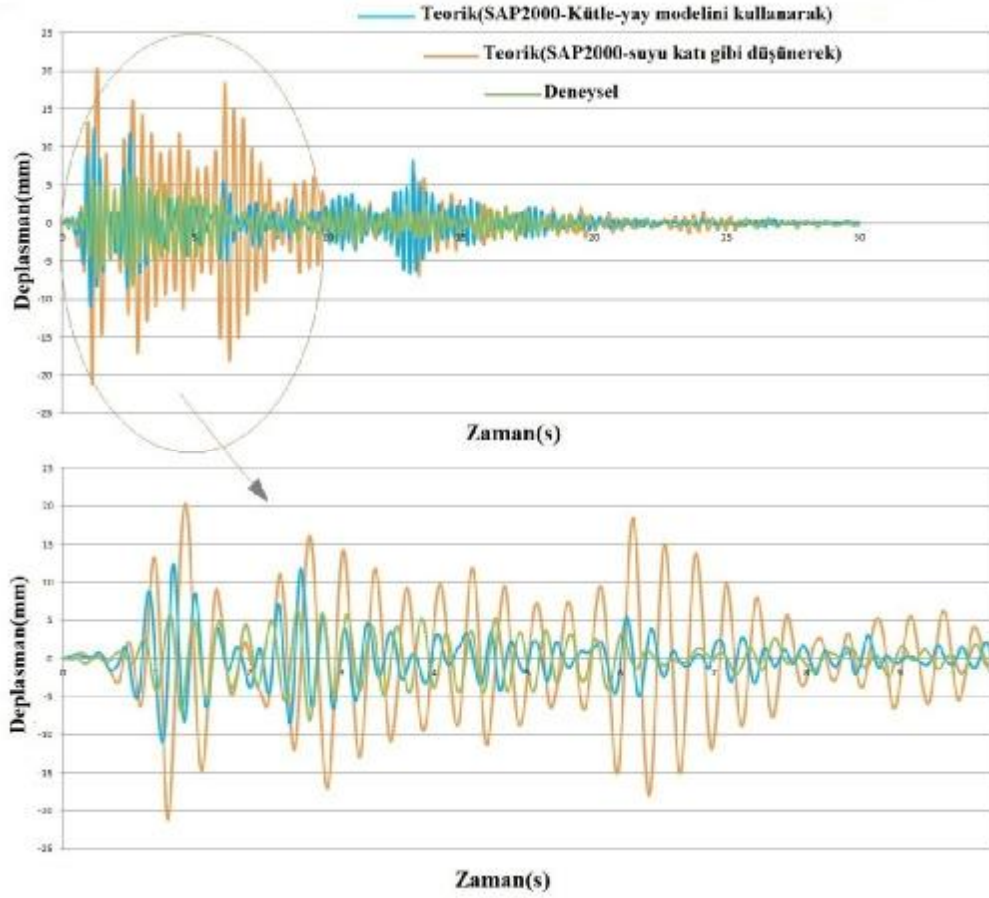
Ehsan CHAVOSH HAKKAK



Şekil 4.22. Ölçeklenmiş El Centro (1940) Depremi kayıtlarının su deposu ($\frac{1}{2}$) suyla doluyken uygulanması sonucu elde edilen yatay depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları ve tabla deplasmanları



Şekil 4.23. Ölçeklenmiş El Centro Depremi (1940) ivme kaydı için deneysel olarak belirlenen rölatif depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları (su deposu ($\frac{1}{2}$) suyla doluyken)



Şekil 4.24. Ölçeklenmiş El Centro Depremi (1940) ivme kaydı için depodaki tepe nokta rölatif yatay deplasmanının zamanla değişimi ve sap 2000 den iki farklı yöntemle alınmış deplasmanların kıyaslaması (su deposu ($\frac{1}{2}$) suyla doluyken)

4.3.2.2. Düzce Depremi Etkisinde Model Yapı Davranışı

Düzce depremi ivme kayıtları bu uygulama için zaman değerleri değişmeksizin ivme değeri ($\frac{1}{2}$) oranında küçültülmüştür. Şekil 4.18’de bu oranla küçültülmüş olan Düzce Depremi ivme kayıtları verilmiştir.

Düzce depremine ait ivme kaydının su deposu ($\frac{1}{2}$) suyla doluyken uygulanması sonucu elde edilen depo ve ayağın tepe noktası ile tablanın yatay deplasmanları işlenmemiş halde Şekil 4.25’de verilmektedir. Şekil 4.25’deki depo ve ayağın tepe noktasına ait yatay deplasman kayıtları ile tabla deplasmanın farkı alınarak depo ve ayağın tepe noktası rölatif yatay deplasmanları bulunmuştur. Elde

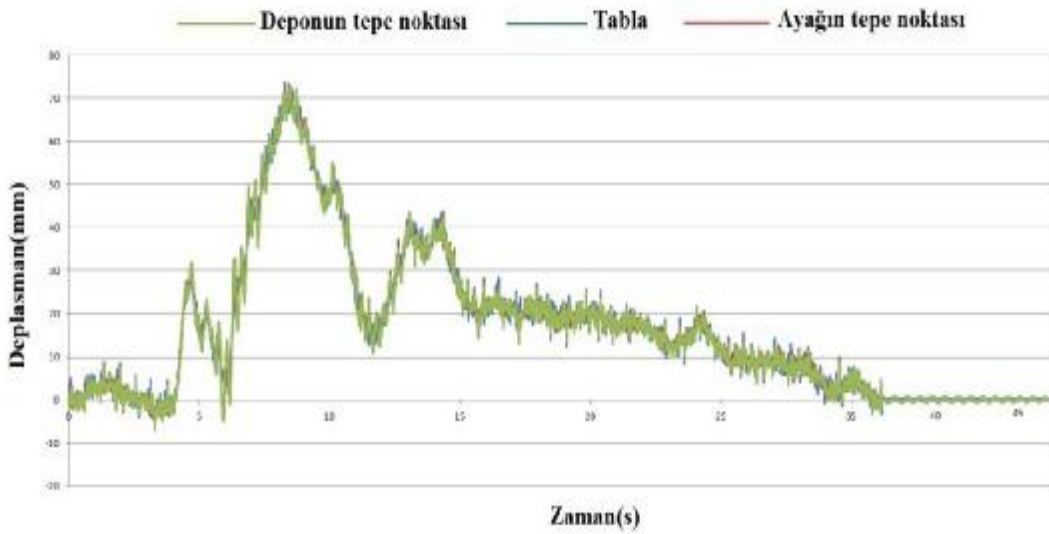
4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK

edilen değerlerde gürültü olduğu için Hızlı Fourier Dönüşümü kullanılarak filtreme işlemi gerçekleştirilmiş, bu işlemde Alçak Geçiren filtre kullanılmış, Frekansı 10 Hz'den büyük olan hareketler gürültü olarak ayıklanmıştır. Şekil 4.26'da depo ve ayağın tepe noktası rölatif yatay deplasmanları filtre edilmiş halde görülmektedir.

SAP2000 yazılımı kullanılarak aynı deprem kaydı etkisinde model yapının analizleri gerçekleştirilmiştir. SAP2000 analizlerinde modal sönüm oranı 4.3.1.1' de açıklandığı gibi 0.05 değeri kullanılmaktadır. Programda model üzerinde yapılan analizler depodaki suyu modellemek için 4.3.2.1' de görüldüğü gibi iki farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

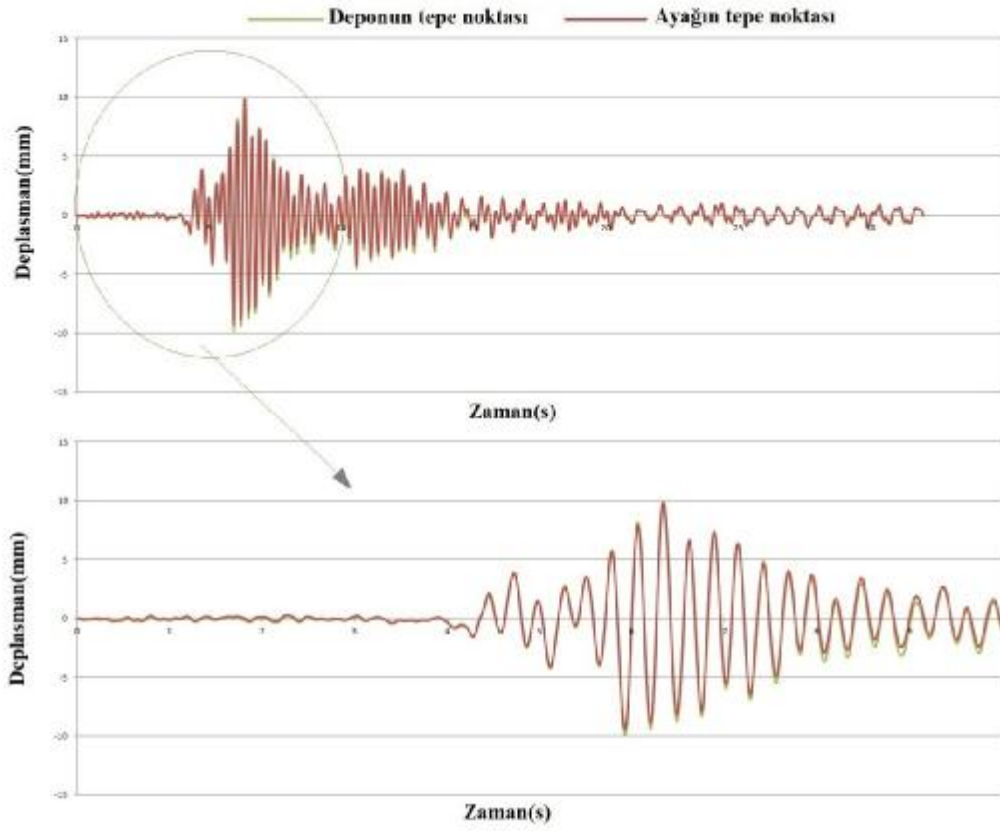
Depo tepe noktası rölatif yatay deplasmanının deneysel olarak ve SAP2000 analizi sonucunda elde edilen değerleri Şekil 4.27'te karşılaştırılmaktadır. Şekil 4.27'den görüldüğü gibi deneysel ve teorik sonuçlar arasında genel bir uyum gözlenmektedir.



Şekil 4.25. Ölçeklenmiş Düzce Depremi (1999) kayıtlarının su deposu ($\frac{1}{2}$) suyla doluyken uygulanması sonucu elde edilen yatay depo ve ayağın tepe noktası deplasmanları ve tabla deplasmanları

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

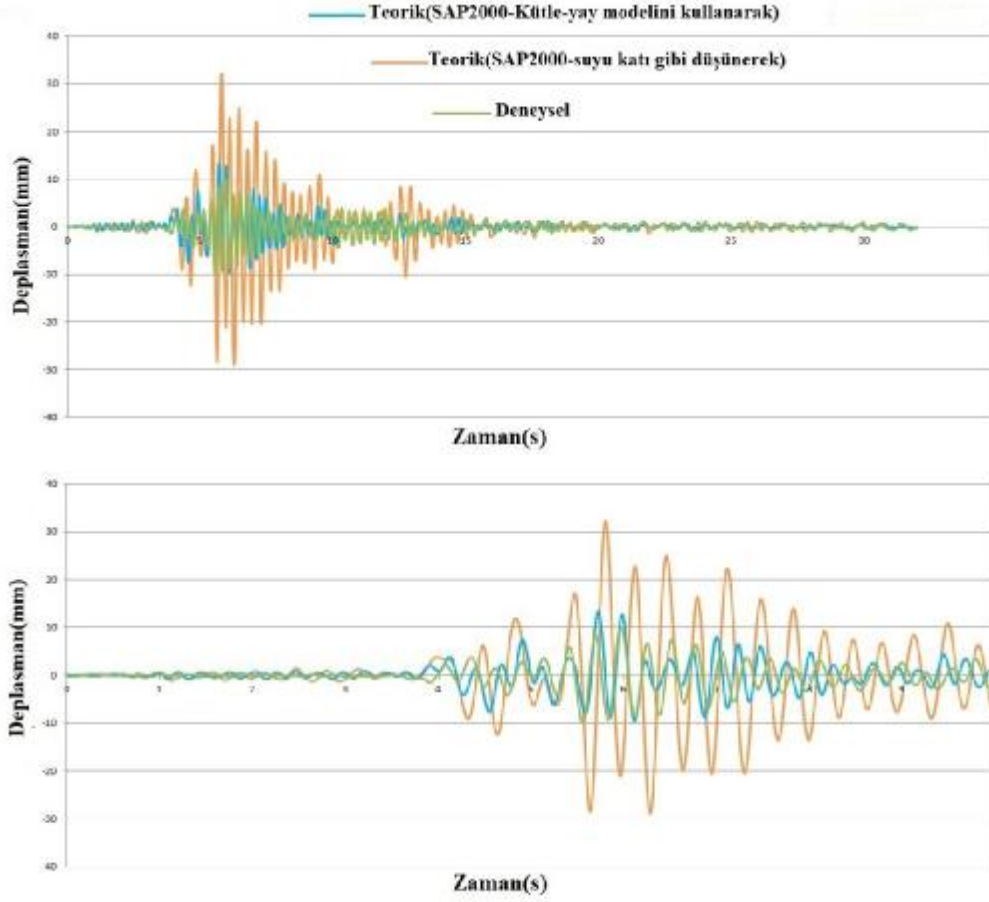
Ehsan CHAVOSH HAKKAK



Şekil 4.26. Ölçeklenmiş Düzce Depremi (1999) ivme kaydı için deneysel olarak belirlenen rölatif depo ve ayak tepe nokta deplasmanları (su deposu $(\frac{1}{2})$ suyla doluyken)

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK



Şekil 4.27. Ölçeklenmiş Düzce Depremi (1999) ivme kaydı için depodaki tepe nokta rölatif yatay deplasmanının zamanla değişimi ve SAP2000 den iki farklı yöntemle alınmış deplasmanların kıyaslaması (su deposu ($\frac{1}{2}$) suyla doluyken)

4.3.3. Su Deposu ($\frac{1}{3}$) Suyla Doluyken Model Yapının Deprem Davranışı

4.3.3.1. El Centro Depremi Etkisinde Model Yapı Davranışı

El Centro depremine ait Şekil 4.10'da $\lambda = \frac{1}{4}$ katsayı ile ölçeklenmiş olan El Centro Depremi ivme kayıtları verilmiştir, ivme kaydının su deposu ($\frac{1}{3}$) suyla doluyken uygulanması sonucu elde edilen depo ve ayağın tepe noktası ile tablanın yatay deplasmanları işlenmemiş halde Şekil 4.28'de verilmektedir. Şekil 4.28'deki depo ve ayağın tepe noktasına ait yatay deplasman kayıtları ile tabla deplasmanın farkı alınarak depo ve ayağın tepe noktası rölatif yatay deplasmanları bulunmuştur.

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK

Elde edilen değerlerde gürültü olduğu için Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform, FFT) kullanılarak filtreme işlemi gerçekleştirilmiş, bu işlemde Alçak Geçiren (Low Pass) filtre kullanılmış, Frekansı 10 Hz'den büyük olan hareketler gürültü olarak ayıklanmıştır. Şekil 4.29'da depo ve ayağın tepe noktası rölatif yatay deplasmanları filtre edilmiş halde görülmektedir.

SAP2000 yazılımı kullanılarak aynı deprem kaydı etkisinde model yapının analizleri gerçekleştirilmiştir. SAP2000 analizlerinde modal sönüm oranı 4.3.1.1' de açıklandığı gibi 0.05 değeri kullanılmaktadır. Programda model üzerinde yapılan analizler depodaki suyu modellemek için iki farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak Housner Yaklaşımını kullanarak suyu modellemek amacıyla Bölüm 3.6'da detayları verilen kütle-yay modeli - salınım bölgesi için tek bir kütle yaklaşımı ile- kullanılmıştır. İlgili kütle ve yay parametreleri (3.7)-(3.11) denklemleri kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

İmpuls kütlesi suyun doluluk oranı ($\frac{1}{3}$) iken, (3.9) denklemini kullanarak aşağıda görüldüğü gibi hesaplanmaktadır;

$$m_i = 31.011 * \frac{\tanh\left(1.74 * \frac{237.5}{175}\right)}{\left(1.74 * \frac{237.5}{175}\right)} = 12.901 \text{ kg}$$

Salınım kütlesi suyun doluluk oranı ($\frac{1}{3}$) iken, (3.8) denklemini kullanarak aşağıda görüldüğü gibi hesaplanmaktadır;

$$m_c = 31.011 * 0.318 \frac{237.5}{175} \tan h\left(1.84 \frac{262.5}{175}\right) = 11.716 \text{ kg}$$

İmpuls kütlesi yüksekliği suyun doluluk oranı ($\frac{1}{3}$) iken, (3.11) denklemini kullanarak aşağıda görüldüğü gibi hesaplanmaktadır;

$$h_i = \frac{3}{8} * 175 = 65.62 \text{ mm}$$

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK

Salınım kütlesi yüksekliği suyun doluluk oranı ($\frac{1}{2}$) iken, (3.10) denklemini kullanarak aşağıda görüldüğü gibi hesaplanmaktadır;

$$h_c = \left[1 - \frac{\cosh\left(1.84 * \frac{175}{237.5}\right) - 1}{1.84 * \frac{175}{237.5} * \sinh\left(1.84 * \frac{175}{237.5}\right)} \right] * 175 = 98.82 \text{ mm}$$

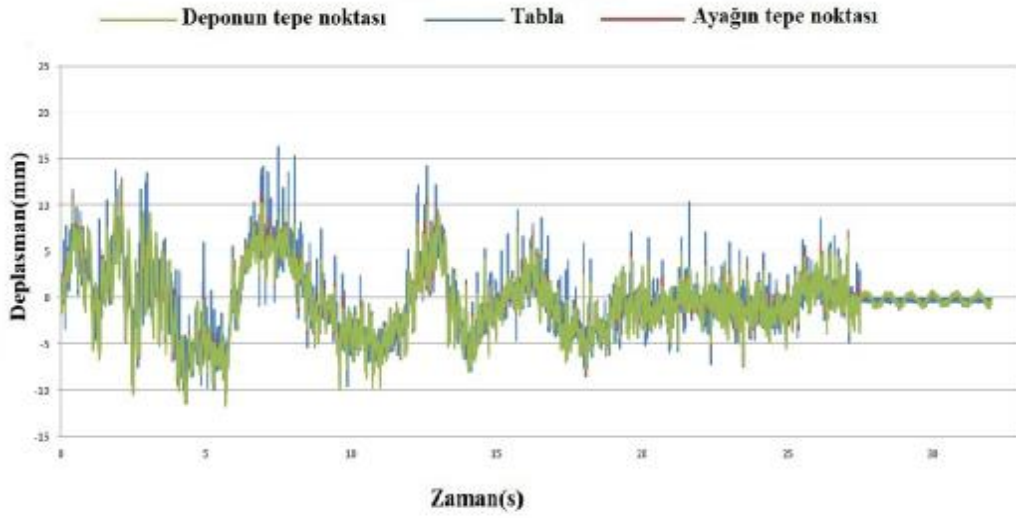
Salınım kütlesi rijitliği suyun doluluk oranı ($\frac{1}{3}$) iken, (3.10) denklemini kullanarak aşağıda görüldüğü gibi hesaplanmaktadır;

$$k_c = 117.16 * \frac{1}{237.5} * 1.84 * \tanh\left(\frac{1.84 * 175}{237.5}\right) = 0.79 \text{ N/mm}$$

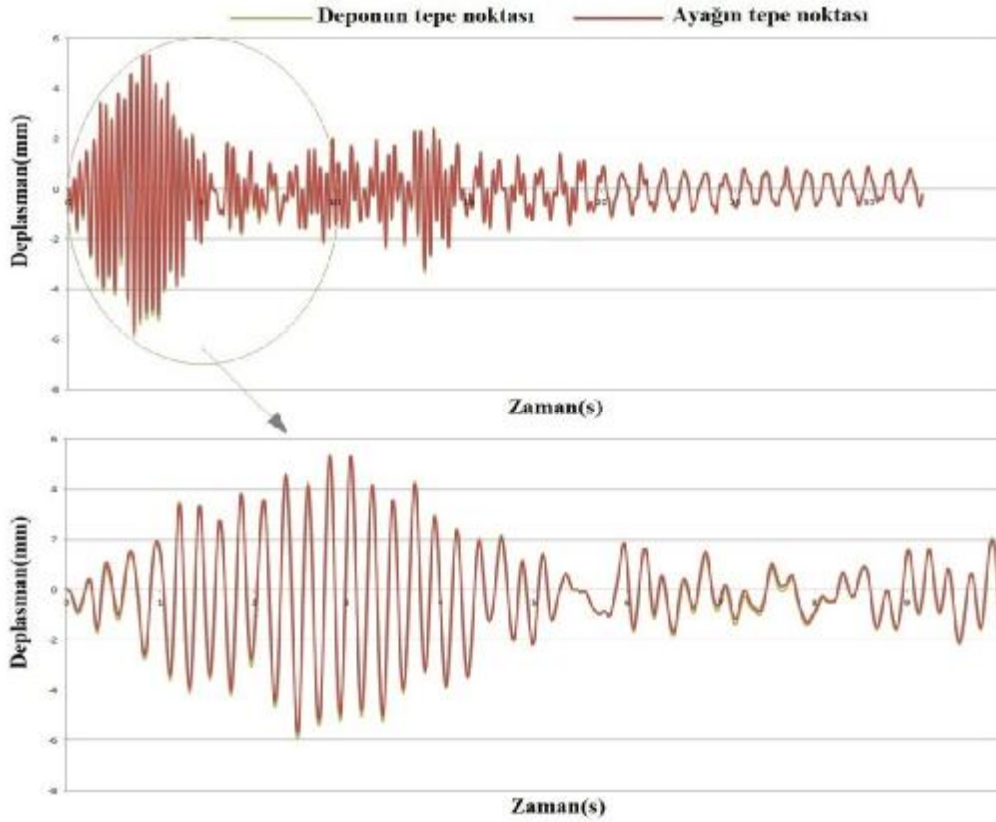
İkinci yöntemde ise modelin depo kısmındaki suyun katı gibi davrandığı kabul edilmiştir. Bu amaçla, deponun su ile dolu kısmının kütesine, rijitlikte herhangi bir değişiklik yapmaksızın su kütlesi ilave edilmiştir. Depo tepe noktası rölatif yatay deplasmanının deneysel olarak ve SAP2000 analizi sonucunda elde edilen değerleri Şekil 4.30'da karşılaştırılmaktadır. Şekil 4.30'dan görüldüğü gibi deneysel ve teorik sonuçlar arasında genel bir uyum vardır.

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

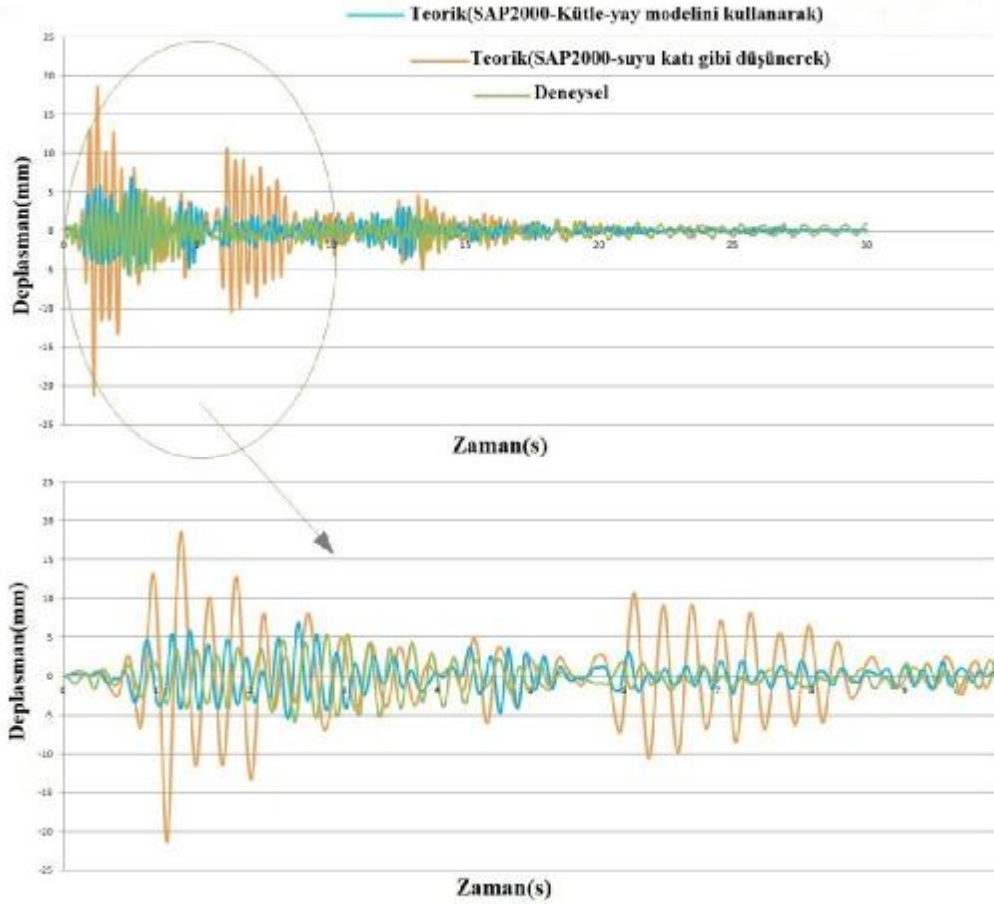
Ehsan CHAVOSH HAKKAK



Şekil 4.28. Ölçeklenmiş El Centro (1940) Depremi kayıtlarının su deposu ($\frac{1}{3}$) suyla doluyken uygulanması sonucu elde edilen yatay depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları ve tabla deplasmanları



Şekil 4.29. Ölçeklenmiş El Centro Depremi (1940) ivme kaydı için deneysel olarak belirlenen rölatif depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları (su deposu ($\frac{1}{3}$) suyla doluyken)



Şekil 4.30. Ölçeklenmiş Elcentro Depremi (1940) ivme kaydı için depodaki tepe nokta rölatif yatay deplasmanının zamanla değişimi ve SAP2000 den iki farklı yöntemle alınmış deplasmanların kıyaslaması (su deposu ($\frac{1}{3}$) suyla doluyken)

4.3.3.2. Düzce Depremi Etkisinde Model Yapı Davranışı

Düzce depremi ivme kayıtları bu uygulama için zaman değerleri değişmeksizin ivme değeri ($\frac{1}{2}$) oranında küçültülmüş. Şekil 4.18’de bu oranla küçültülmüş olan Düzce Depremi ivme kayıtları verilmiştir.

Düzce depremine ait ivme kaydının su deposu ($\frac{1}{3}$) suyla doluyken uygulanması sonucu elde edilen depo ve ayağın tepe noktası ile tablanın yatay deplasmanları işlenmemiş halde Şekil 4.31’de verilmektedir. Şekil 4.31’deki depo ve ayağın tepe noktasına ait yatay deplasman kayıtları ile tabla deplasmanının farkı

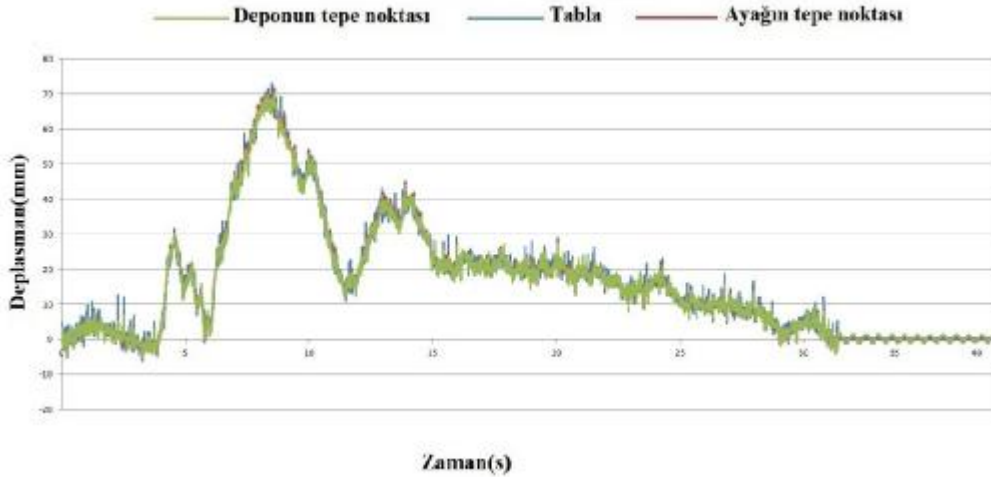
4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK

alınarak depo ve ayağın tepe noktası rölatif yatay deplasmanları bulunmuştur. Elde edilen değerlerde gürültü olduğu için Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform, FFT) kullanılarak filtreme işlemi gerçekleştirilmiş, bu işlemde Alçak Geçiren (Low Pass) filtre kullanılmış, Frekansı 10 Hz'den büyük olan hareketler gürültü olarak ayıklanmıştır. Şekil 4.32'da depo ve ayağın tepe noktası rölatif yatay deplasmanları filtre edilmiş halde görülmektedir.

SAP2000 yazılımı kullanılarak aynı deprem kaydı etkisinde model yapının analizleri gerçekleştirilmiştir. SAP2000 analizlerinde modal sönüm oranı 4.3.1.1' de açıklandığı gibi 0.05 değeri kullanılmaktadır. Programda model üzerinde yapılan analizler depodaki suyu modellemek için 4.3.3.1'de görüldüğü gibi iki farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

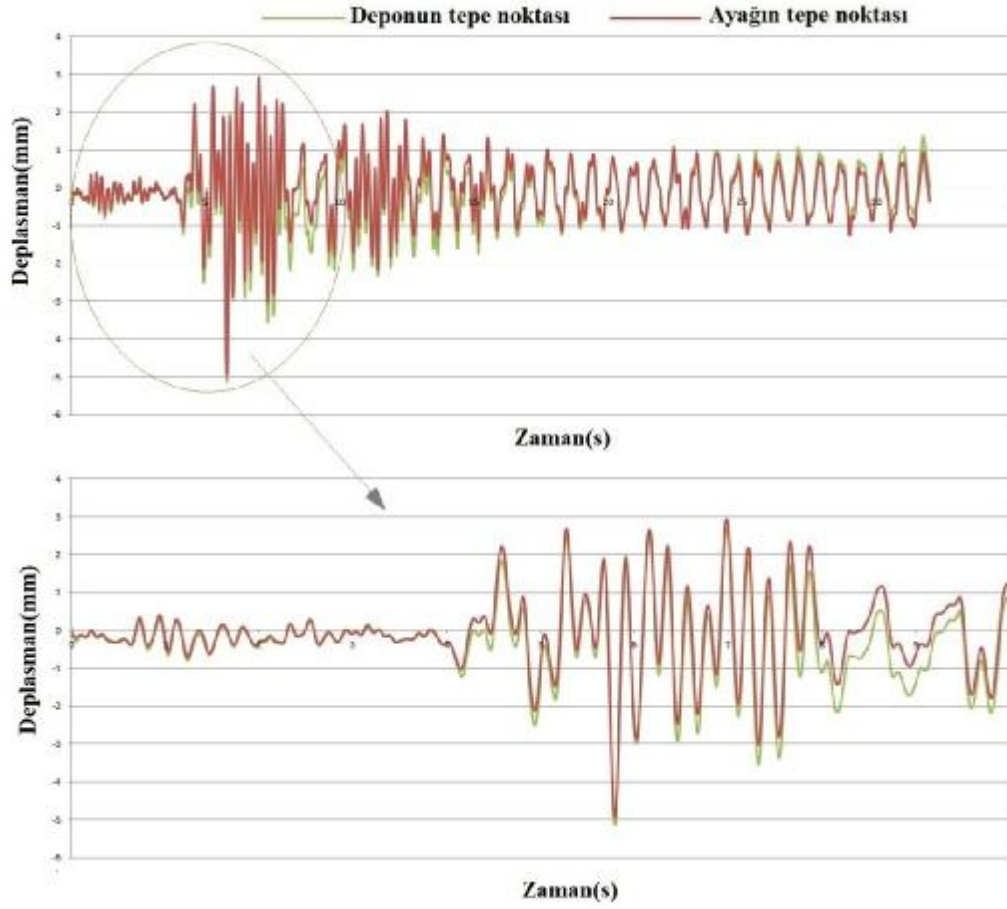
Depo tepe noktası rölatif yatay deplasmanının deneysel olarak ve SAP2000 analizi sonucunda elde edilen değerleri Şekil 4.33'de karşılaştırılmaktadır. Şekil 4.33'den görüldüğü gibi deneysel ve teorik sonuçlar arasında genel bir uyum gözlenmektedir.



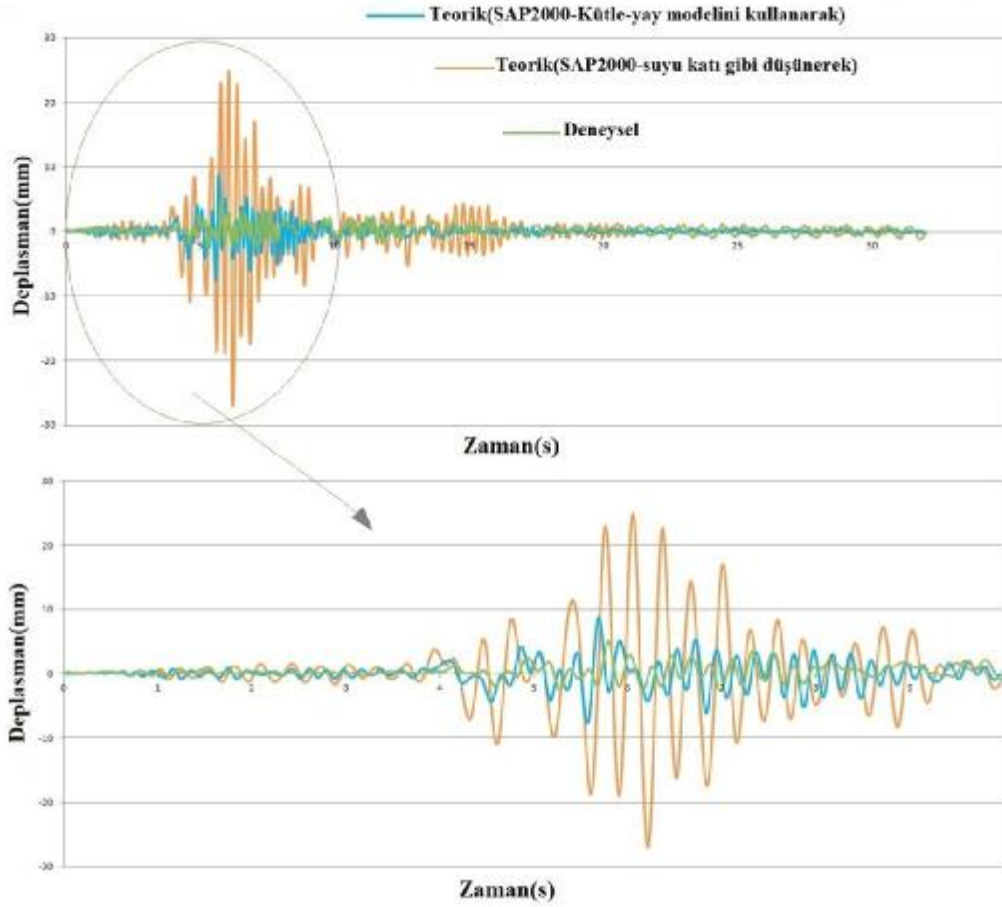
Şekil 4.31. Ölçeklenmiş Düzce Depremi (1999) kayıtlarının su deposu ($\frac{1}{3}$) suyla doluyken uygulanması sonucu elde edilen yatay depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları ve tabla deplasmanları

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK



Şekil 4.32. Ölçeklenmiş Düzce Depremi (1999) ivme kaydı için deneysel olarak belirlenen rölatif depo ve ayağın tepe nokta deplasmanları (su deposu $\frac{1}{3}$ suyla doluyken)



Şekil 4.33. Ölçeklenmiş Düzce Depremi (1999) ivme kaydı için depodaki tepe nokta rölatif yatay deplasmanın zamanla değişimi ve sap 2000 den iki farklı yöntemle alınmış deplasmanların kıyaslaması (su deposu ($\frac{1}{3}$) suyla doluyken)

4.4. Suyun Modellenmesinde Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması

4.4.1. Giriş

SAP2000 yazılımı kullanılarak model üzerinde yapılan analizler depodaki suyu modellemek için iki farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak Housner Yaklaşımını kullanarak suyu modellemek amacıyla Bölüm 3.6'da detayları verilen kütle-yay modeli -salınım bölgesi için tek bir kütle yaklaşımı ile kullanılmıştır, ikinci yöntemde ise modelin depo kısmındaki suyun katı gibi davrandığı kabul edilmiştir. Bu amaçla, deponun su ile dolu kısmının kütesine, rijitlikte herhangi bir değişiklik yapmaksızın su kütlesi ilave edilmiştir. Bu bölümde ilk olarak suyun modellenmesinde kullanılan yöntemlerle elde edilen su deposunun

4. UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMA BULGULARI

Ehsan CHAVOSH HAKKAK

serbest titreşim frekansları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Daha sonra ise her iki yöntemle modellenen su deposuna sinüs eğrisi şeklinde bir ivme kaydı, farklı frekans değerleri için uygulanmıştır. Uygulanan her bir frekans için su deposunun depo ve ayak tepe nokta rölatif yatay deplasmanlarının maksimum değeri elde edilmiştir. Yukarıda anlatılan her iki yöntemle her bir frekans değeri için elde edilen maksimum büyüklükler karşılaştırılmıştır.

4.4.1.1. Farklı Modeller İçin Serbest Titreşim Frekansların Karşılaştırılması

Suyu modellemek amacıyla kullanılan yöntemlerden elde edilen su deposu modelinin serbest titreşim frekansları 1.mod ve 2.mod için Çizelge 4.2 de görüldüğü gibidir.

Çizelge 4.2. Farklı yöntemlerle modellenen su deposunun serbest titreşim frekanslarının kıyaslanması

Su doluluk oranı	Deneysel		Kütle-Yay modeli ile		Suyun katı gibi kabul edilmesi halinde	
	1.Mod (Hz)	2.Mod (Hz)	1.Mod (Hz)	2.Mod (Hz)	1.Mod (Hz)	2.Mod (Hz)
$\frac{1}{2}$	1.327	3.738	1.337	4.115	2.909	4.386
$\frac{1}{3}$	1.297	2.334	1.278	5.027	3.315	5.075

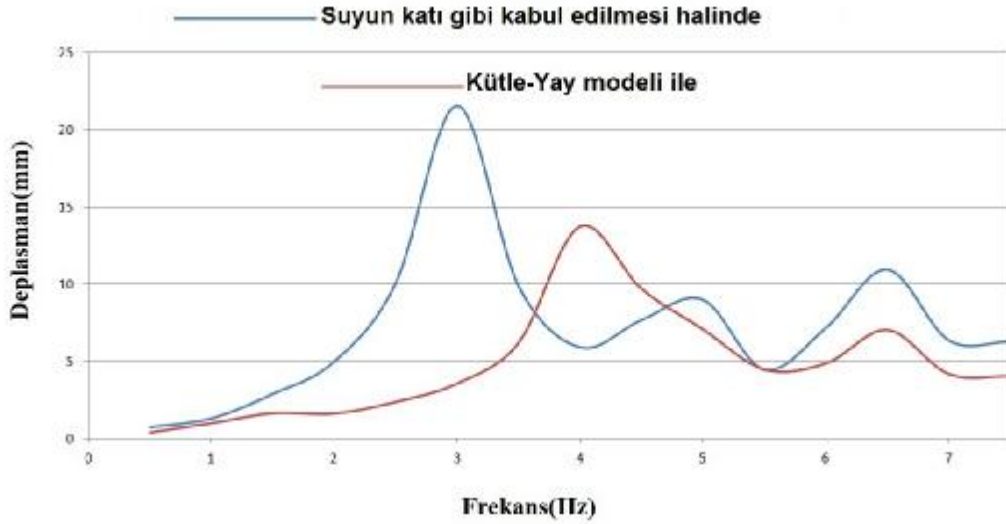
4.4.1.2. Farklı Modeller İçin Maksimum Deplasmanların Karşılaştırılması

Bu bölümde çeşitli frekans değerlerine sahip sinüs eğrisi şeklinde bir ivme kaydının uygulaması sonucu farklı yöntemlerle elde edilen ayak ve depo tepe noktası rölatif yatay deplasmanlarının maksimum değerleri karşılaştırılmaktadır.

(a). Su Deposu ($\frac{1}{2}$) Oranında Suyla Doluyken Karşılaştırmalar



Şekil 4.34. Ayak tepe noktası rölatif maksimum yatay deplasmanının frekansa göre değişimi



Şekil 4.35. Depo tepe noktası rölatif maksimum yatay deplasmanının frekansa göre değişimi

(b). Su Deposu ($\frac{1}{3}$) Oranında Suyla Doluyken Karşılaştırmalar



Şekil 4.36. Ayak tepe noktası rölatif maksimum yatay deplasmanın frekansa göre değişimi



Şekil 4.37. Depo tepe noktası rölatif maksimum yatay deplasmanın frekansa göre değişimi

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir ayaklı su deposu modelinin dinamik deprem davranışı deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Çalışmanın deneysel kısmı Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında yapılmıştır. Teorik incelemeler ise SAP2000 yazılımıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında, 2.10 metre yüksekliğinde, paslanmaz çelikten bir ayaklı su deposu üretilmiştir. Su deposunun üretiminden sonra, su deposu Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarındaki sarsma tablası üzerine kurulup geçmiş deprem kayıtları altında deprem davranışı deneysel olarak araştırılmıştır. Sayısal bina analizi yazılımlarının sonuçlarıyla, deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçların büyük ölçüde uyumlu olduğu belirlenmiştir. Aynı deneyler su deposunun içine farklı seviyelerde su doldurularak tekrar edilmiş ve sonuçları sayısal bina analizi yazılımlarının sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Su deposunun depreme göre yapısal çözümlemesinde depodaki sıvının salınım etkilerinin dikkate alınmasının su deposunun dinamik davranışını önemli ölçüde değiştirdiği belirlenmiştir. Özellikle sıvı salınımının etkin olduğu ilk modun periyodu, salınımın dikkate alınmadığı duruma göre bir kaç kat daha büyük olmaktadır. Kurulan model yapısının büyük ölçüde benzerlik yasalarına uygun olarak tasarlanması sonucu deney hataları en aza indirgenmiştir. Teorik yöntemler ile elde edilen sonuçların deney sonuçlarıyla uyumu sıvı-yapı etkileşimi için kullanılan modellerin başarısını göstermektedir.

Çalışmada veri/sinyal işleme teknikleri sıklıkla kullanılmıştır. Elde edilen sinyalleri filtrelemenin ve düzeltmenin önemi gösterilmiştir. Filtreleme için Fourier spektrum analizi yapılarak gürültü seviyeleri ve kesme frekansları belirlenmiştir. Yapıya ait deneysel serbest titreşim frekanslarının Fourier spektrum analizi yapılarak belirlenebileceği gösterilmiştir. Çalışmada, SAP2000 uygulamalarında klasik viskoz sönüm modeli ve mod birleştirme yöntemi tercih edilmiştir.

Model yapı üretimi esnasında, üretim tekniklerinin ve sınır koşullarının sağlanmasının son derece önemli olduğu gözlemlenmiştir. Ulaşılan sonuçlara göre sonlu eleman yöntemi kullanan ve mühendisler için vazgeçilemez yapı analiz ve

tasarımı yazılımlarının büyük ölçüde gerçeğe yakın sonuçlar verdiği ancak model kurulması sırasında seçilen eleman, model ve oranların dikkatle değerlendirilmesi gerektiği görülmüştür. Üretilecek değişik modellerle yapılacak deneylerden, yazılımların değerlendirilmesi ve yeni yaklaşımların belirlenmesi mümkündür. Yapı dinamiğinin karmaşık doğasının anlaşılabilmesi açısından bu alanda deneysel çalışmaların ne kadar önemli olduğu bu çalışma sonucunda ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- ABRAMSON, H.N., 1966. Dynamic Behavior of Liquids in Moving Containers with Application to Space Vehicle Technology, NASA-SP-106.
- ACI 371R-98, 1998. American Concrete Institute (ACI), Guide to the Analysis Design and Construction of Concrete-Pedestal Water Tower, MCP-2002.
- ADAM, C., 2001. Dynamics of Elastic-Plastic Shear Frames With Secondary Structures: Shake Table and Numerical Studies. Earthquake Engng Struct. Dyn.,(30):257-277.
- BARAN, T., 2008, Yapıların Dinamic Davranışının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi. Ç. Ü. Mühendislik Fakültesi – Doktora Tezi 160 sayfa.
- BAUER, H.F. 1964. Fluid Oscillations in The Containers of a space Vehicle and Their Influence upon Stability, Report NASA TR R-187.
- BAUER, H.F., SIEKMANN, J., 1971. Dynamic Interaction of a Liquid with the Elastik Structure of Circular Cylindrical Container, Ingenieur Archiv 49,8 266-280.
- BORTHWICK, D., STEWART, R. P, ve ZHAI E., 2004. Seismic Behavior of Flexible Conductors Connecting Substation Equipment—Part II: Shake Table Tests. IEEE Transactions On Power Delivery, 19(4):1680-1687.
- CHANDRASEKARAN, A.R., Krishna, J., 1954. Water Towers in Seismic Zones, Proceeding of the Third World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, :IV, 161-171.
- CHASE, J.G., HUDSON, N.H., LIN, J., ELLIOT, R. ve SIM, A., 2005. Nonlinear Shake Table Identification and Control for Near-Field Earthquake Testing. Journal of Earthquake Engineering, 9(4):461–482.
- CHEN, C. ve CHEN, G., 2004. Shake Table Tests of a Quarter-Scale Three-Storey Building Model with Piezoelectric Friction Dampers. Struct. Control Health Monit., (11):239–257.
- CHOI, I.-K., KIM, M. K., CHOON, Y.-S., ve SEO J. M., 2005. Shaking Table Test of Steel Frame Structures Subjected to Scenario Earthquakes. Nuclear Engineering and Technology, 37(2):191-200.

- CLOUGH, R. W., ve PENZIEN, J., 1993. Dynamics of Structures- Second Edition. McGraw-Hill Inc, Singapur, 648s. CONTE, J. P. ve TROMBETTI, T. L., 2000. Linear Dynamic Modeling of a Uni-Axial Servo-Hydraulic Shaking Table System. Earthquake Engng Struct. Dyn. (29):1375-1404.
- DELGADO, M. D. C., 2005. Development of the UPRM Earthquake Simulator Facility for Dynamic Model Analysis. M.S. Thesis, University Of Puerto Rico, Mayagüez.
- DHATT, G. ve TOUZOT, G., 1985. Finite Element Method Displayed. A Wiley Interscience Publication, New York, 503s
- DIETERMAN, H.A, 1993. Liquid-Structure Foundation Interaction of Slender Water Tower, Archive of Applied Mechanics, v:63,,No:3, 176-188
- DOĞANGÜN, 1989, AYVAZ, Y A., DURMUŞ, A. 1997. Earthquake Analysis of Water Tower, Proceedings of the Fourth International Conference on Civil Engineering, Tehran, Iran, Vol. I,pp. 439-448.
- DUTTA, S.C., jain S.K., Murty C.V.R., 2001. Inelastic Seismic Torsional Behavior of Elevated Tanks, Journal of Sound and Vibration, 242(1): 151-167.
- EL DAMATY, A. A., SAAFAN, M. S ve SWEEDAN, A. M. I., 2005a. Dynamic Characteristics Of Combined Conical-Cylindrical Shells. Thin-Walled Structures, (43):1380–1397.
- EL DAMATY, A. A., SAAFAN, M. S ve SWEEDAN, A. M. I., 2005b. Experimental Study Conducted on a Liquid-Filled Combined Conical Tank Model. Thin-Walled Structures, (43):1398–1417.
- ELWOOD, K. J., 2004. Modelling Failures in Existing Reinforced Concrete Columns. Can. J. Civ. Eng., (31):846–859.
- EPSTEIN, H.I., 1976. Seismic Design of Liquid-Storage Tanks,. Journal of Structural Division, 102;1659-1673.
- FILIATRAULT, A. ve TREMBLAY, R., 1998. Design of Tension-Only Concentrically Braced Steel Frames for Seismic Induced Impact Loading. Engineering Structures, 20(12):1087-1096.

- FILIATRAULT, A., FISCHER, D. FOLZ, B.; ve UANG C.-M., 2002. Seismic Testing of Two-Story Woodframe House: Influence of Wall Finish Materials. *Journal of Structural Engineering*, 128(10):1337–1345.
- FILIATRAULT, A., ISODA, H. ve FOLZ, B., 2003. Hysteretic Damping of Wood Framed Buildings. *Engineering Structures*, (25):461–471.
- FILIATRAULT, A., KUAN, S., ve TREMBLAY R., 2004a. Shake Table Testing of Bookcase – Partition Wall Systems. *Can. J. Civ. Eng.*, (31):664–676.
- FILIATRAULT, A., TREMBLAY, R., ve KUAN, S., 2004b. Generation of Floor Accelerations for Seismic Testing of Operational and Functional Building Components. *Can. J. Civ. Eng.*, (31):646–663.
- FOLZ, B., ve FILIATRAULT A., 2004a. Seismic Analysis of Woodframe Structures. I: Model Formulation. *Journal of Structural Engineering*, 130(9):1353–1360.
- FOLZ, B., ve FILIATRAULT A., 2004b. Seismic Analysis of Woodframe Structures. II: Model Implementation and Verification. *Journal of Structural Engineering*, 130(9):1361–1370.
- GHALIBAFIAN, H., BHUYAN, G. S., VENTURA, C., RAINER J. H., Haroun, M.A., Housner, G.W., 1981. Seismic Design of Liquid Storage Tanks. *J.Tech.councils.ASCE*, 107(1):191-207.
- HAROUN,M.A., Ellaithy, M.H., 1985. Seismically Induced Fluid on Elevated Tanks *Journal of Technical Topics in Civil Engineering*, 111(1),1-15.
- HARRIS, H. G. ve SABNIS, G. M., 1999. *Structural Modelling and Experimental Techniques- 2nd edition*. CRC Press LLC, Boca Raton Florida, 761s.
- HOUSNER, G.W., 1957. Dynamic pressure on Accelerated Fluid Containers, *Bulletin of the seismological Society of the America*, 47, 15-35.
- HOUSNER, G.W., 1963. Dynamic Behavior of Water Tanks, *Bulletin of the seismological Society of the America*, 53, 381-387.
- http://wiki.originlab.com/~originla/wiki2/index.php?title=X-Function:Fft_filters
(Erişim tarihi: 21 mayis 2012)

- HUTCHINSON, T. C. ve CHAUDHURI, S. R., 2006. Bench–Shelf System Dynamic Characteristics and Their Effects on Equipment and Contents. *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, (35):1631–1651.
- KOH, H. M., KIM, J. K. ve PARK, J.-H., 1998. Fluid-Structure Interaction Analysis of 3-D Rectangular Tanks by a Variationally Coupled Bem-Fem and Comparison with Test Results. *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, (27):109-124.
- KUEHN, J., EPP D. ve PATTEN, W. N., 1999. High-Fidelity Control of a Seismic Shake Table. *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, (28):1235-1254.
- LATENDRESSE, V., 1999. Operation and Control of a Seismic Simulator. PhD Thesis, The University of British Columbia, Vancouver.
- LIAO W.- I., MUALLA, I. ve LOH, C.-H., 2004. Shaking-Table Test of a Friction-Damped Frame Structure. *Struct. Design Tall Spec. Build.*, (13):45–54.
- LİVAOĞLU, T, 2005, Ayaklı Depoların Sıvı-Yapı-Zemin Etkileşimleri Dikkate alınarak Deprem Davranışlarının İncelenmesi. K. T. Ü. Mühendislik Fakültesi – Doktora Tezi 282 sayfa.
- LU L.-Y., ve CHUNG, L.-L., 2001. Modal Control of Seismic Structures Using Augmented State Matrix. *Earthquake Engng Struct. Dyn.* (30):237-256.
- LU, X., ve WU, X., 2000. Study on a New Shear Wall System with Shaking Table Test and Finite Element Analysis. *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, (29):1425-1440.
- LU, X., ZOU, Y., LU, W. ve ZHAO B., 2006. Shaking Table Model Test on Shanghai World Financial Center Tower. *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, (in press)
- MA, G., HAO, H. ve LU, Y., 2003. Modelling Damage Potential of High-Frequency Ground Motions. *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, (32):1483–1503.
- MALHOTRA, P., Method for seismic base isolation of liquid-storage tanks, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 123, No. 1, January, 1997
- MOGHADDAM, H.A. and Ghannad, M.A. (1995), "Evaluation of the Dynamic Analysis Requirements in the Seismic Code of Iran", *Proceedings of the Second International Conference on Seismology and Earthquake Engineering (SEE2)*, Tehran, Iran, Vol. 1, pp.515-528

- MO, Y. L. ve HWANG W. L., 1998. Shake Table Tests on Prestressed Concrete Frames. *Materials and Structures*, 31(December):676-682.
- MONCARZ, P.D., 1981. Theory and Application of Experimental Model Analysis in Earthquake Engineering. Ph.D. Thesis, Stanford University, California.
- MORIN, P. B., LEGER, P. ve TINAWI, R., 2002. Seismic Behavior of Post-Tensioned Gravity Dams: Shake Table Experiments and Numerical Simulations. *Journal of Structural Engineering*, 128(2):140–152.
- MUHLENKAMP, M.J., 1997. Analysis, Design and Construction of Shaking Table Facility. M.S. Thesis, Rice University, Houston, Texas.
- POPOVSKI M., PRION H. G. L., ve KARACABEYLI, E., 2003. Shake Table Tests On Single-Storey Braced Timber Frames. *Can. J. Civ. Eng.*, (30):1089–1100.
- RAI, D.C., 2002. Seismic Retrofitting of R/C Shaft Support of Elevated Tanks, *Earthquake Spectra*, 18,745-760.
- RODRIGUEZ, M. E., RESTREPO, J. I. ve BLANDON, J. J., 2006. Shaking Table Tests of a Four-Story Miniature Steel Building—Model Validation, *Earthquake Spectra*, 22, (3):755–780.
- SHEPHERD, R., 1972. Two Mass Representation of a Water Tower Structure, *Journal of Sound and Vibration*, 24(4),391-396.
- SOLLOGOUB, P., 2006. Seismic Testing. Advanced Course on Advanced Earthquake Engineering Analysis, CISM, Udine, Italya.
- SPILIOPOULOS, K. V., ve LYKIDIS, G. CH., 2006. An Efficient Three-Dimensional Solid Finite Element Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Structures. *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, (35):137–157.
- TIMLER, P., VENTURA, C. E., PRION, H., ve ANJAM, R, 1998. Experimental and Analytical Studies of Steel Plate Shear Walls as Applied to The Design Of Tall Buildings. *Struct. Design Tall Build.*, (7):233–249.
- TROMBETTI, T. ve CONTE, J. P, 2002. Shaking Table Dynamics: Results from a Test-Analysis Comparison Study. *Journal of Earthquake Engineering*, 6(4):513-551.

- TROMBETTI, T., 1996. Analytical Modeling of a Shaking Table System. M.S.Thesis, Rice University, Houston, Texas.
- TROMBETTI, T., 1998. Experimental / Analytical Approaches to Modeling, Calibrating and Optimizing Shaking Table Dynamics for Structural Applications. Ph.D. Thesis, Rice University, Houston, Texas.
- TROMBETTI, T.L., ve CONTE J.P., 2005. New Insight into and Simplified Approach to Seismic Analysis of Torsionally Coupled One-Story Elastic Systems. *Journal of Sound and Vibration*, (286):265–312.
- TWITCHELL, B. S. ve SYMANS, M. D., 2003. Analytical Modelling, System Identification, and Tracking Performance of Uniaxial Seismic Simulators. *Journal of Engineering Mechanics*, 129(12):1485-1488.
- VELETOSOS, A.S., 1984. Seismic Response and Design of Liquid Storage Tanks, Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline System, ASCE, Newyork, 225-461.
- VILLAVERDE, R., ve MOSQUEDA, G., 1999. A Seismic Roof Isolation System:Analytic and Shake Table Studies. *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, (28):217-234.
- WANG, H. ve LI, D., 2006a. Experimental Study of Dynamic Damage of an Arch Dam. *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, (in press)
- WANG, H. ve LI, D., 2006b. Experimental Study of Seismic Overloading of Large Arch Dam. *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, (35):199–216.
- WESTERGAARD, H.M. 1931. Water pressures on dams during earthquakes, *Proceeding of the ASCE*, v.57, 1303.
- WESTERGAARD, H.M. 1952. *Theory of Elasticity and Plasticity*, Cambridge MA, NewYork.
- WILSON, E. L., 2002. *Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures- 3rd edition*. Computers and Structures Inc., California, 423s.
- WU, J.-C., 2000. Modeling of an Actively Braced Full-Scale Building Considering Control-Structure Interaction. *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, (29):1325-1342.
- WU, J.-C., 2003. Experiments on a Full-Scale Building Model using Modified Sliding Mode Control. *Journal of Engineering Mechanics*, 129(4): 363-372.

- WU, Y. M. ve SAMALI B., 2002. Shake Table Testing of a Base Isolated Model. *Engineering Structures*, (24):1203–1215.
- YOSHIDA, O., DYKE, S. J., GIACOSA, L. M. ve TRUMAN, K. Z., 2003. Experimental Verification of Torsional Response Control of Asymmetric Buildings Using MR Dampers. *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, (32):2085–2105.
- YU, E., WHANG, D. H., CONTE, J. P., STEWART, J. P. ve WALLACE, J. W., 2005. Forced Vibration Testing of Buildings Using The Linear Shaker Seismic Simulation (LSSS) Testing Method. *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, (34):737–761.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında İRAN ın Batı Azerbaycan ilinin Orumiyeh il merkezinde doğdu. Mahdi İlkokulunu bitirdikten sonra Sadughi ortaokulunda orta öğrenimini devam etti. Manavi ve Molavi liselerinde lise eğitimini bitirdi. 2004 yılında Mahabad Azad İslami Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı ve üniversite öğrenimini 2009 yılında aynı bölümde tamamladı. Eğitiminin devamı için Aynı sene Türkiye'ye geldi ve Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimie başladı. Bekar olan Ehsan CHAVOSH HAKKAK iyi derecede İngilizce, Farsça, Azerice ve Türkçe bilmektedir.